

풍력발전 현황 및 계통연계기술

윤기갑 | 한국전력공사 전력연구원 선임연구원



1. 풍력기술의 개요 및 특징

1.1 풍력기술의 개요

현재 지구상의 상황은 시시각각 변화하는 불안한 국제정세에 따라 국제유가의 변동시기 및 폭을 예측할 수 없는 상황에 다달았고, 향후의 화석연료 고갈에 대비한 에너지원의 다변화와 국제 기후변화 협약 등 국제적인 환경규제에 능동적으로 대처하기 위한 핵심 미래 에너지원의 개발에 심혈을 기울이고 있는 상황이다. 풍력기술을 포함하는 신재생에너지 산업은 이러한 맥락에서 국제적인 관심과 초점을 유도하고 있는 친환경 미래에너지산업이라 할 수 있다.

따라서, 풍력기술을 포함하는 신재생에너지 산업은 과도한 초기투자라는 장애요인에도 불구하고, 화

석에너지의 고갈문제와 환경문제에 대한 핵심 해결 방안이라는 점에서 선진 각국은 정부 주도하에 대체 에너지 산업의 육성을 위해 과감한 연구개발과 보급 정책 등을 추진해 오고 있는 것이 사실이다.

이러한 풍력기술은 바람이 가진 운동에너지로부터 전기적 또는 기계적에너지로 변환시키는 풍력 발전 시스템을 구성하는 회전자, 동력전달장치, 발전기를 포함하는 전기시스템, 요 시스템, 출력제어 시스템, 안전장치, 타워 등 철 구조물 및 이들 기기의 조합인 풍력발전 시스템(Onshore 및 Offshore)의 설계, 제작, 해석, 진단 및 평가·운용을 포함하여 풍력발전 시스템과 직접적 관계에 있는 산업분야와 에너지원인 풍력자원의 조사, 분석을 통한 풍속분포지도(Wind Map를) 작성하는 기술 및 해석적인 방법을 이용하여 수요처의 풍속특성을 분석, 평가하는 국소

표 1. 풍력기술의 향후 시장규모

년 도	설치용량/년(MW)	투자규모/년(US10억\$)	누적 투자규모(US10억\$)	고용인원(년)
2001	6,800	5,202	5,202	114,453
2010	44,824	24,882	133,763	547,413
2020	150,000	67,082	628,616	1,475,808

자료 : BTM Consult Aps, March 2002.



풍속예측 기술, 풍력발전 단지 및 경제성 검토기술을 포함하는 풍력 기반기술로서 분류될 수 있다.

1.2 풍력기술의 특성

풍력기술은 지속가능한 발전을 위한 미래대비 친환경적 자원(전력)산업기술이라 할 수 있으며, 다음과 같은 특징을 갖고 있다.

- 기술적 자원 산업 : 연구개발에 의해 개발 가능한 자원 산업
- 친환경적 자원 산업 : 이산화탄소 발생이 없는 환경친화적 자원 산업
- 지속개발 가능 자원 산업 : 고갈없이 지속 재생 가능한 자원 산업
- 공공 미래자원 산업 : 초기투자 및 시장성등의 불확실 요인으로 정부 또는 공공기관 주도 공공 자원 산업

풍력기술의 일반적 특성으로는 우선 지속개발 가능한 무공해 천연 에너지원을 개발하는 산업으로서 산업의 결과물이 환경에 미치는 영향이 거의 없고 국토가 비좁은 우리의 현실에서 제방이나 산간오지 등을 개발 할 수 있다는 특성으로, 국토이용 효율을 높힐 수 있는 특·장점을 지니고 있다. 또한, 그 실용성에서도 매우 뛰어나, 대단위 규모로 운전하고 있는 미국의 경우에는 발전단가 면에서도 기존 에너지원인 원자력 및 화력 등에 대등한 상태로까지 발전된 상태이다. 그밖에도, 여러 가지의 대체에너지 기술중에서도 최저의 사회 회피비용(avoided cost)으로서 향후 그 산업적 가치와 산업적 생산물(청정 전력)의 가치가 절대적으로 커지게 될 것으로 전망되고 있고, 풍력기술 자체가 환경영향에 대한 부담이 적은 기술로서 각광을 받고 있다. 풍력기술에 의

한 생산품인 풍력발전시스템의 경우에도 자체의 생산을 위해 투입된 에너지를 지역적 풍속특성에 따라 다소간의 차이가 나기는 하지만, 통상 1~3년이면 투입된 에너지를 회수할 수 있을 정도로 에너지 투입 효율성이 좋은 산업이라 할 수 있다.

또한, 기타 다른 산업이 시설투자비 보다는 상대적으로 연료나 운영상 투자비가 높지만 풍력산업 분야는 기계화 및 자동화보다는 고용 증대효과가 큰 제조, 설치 및 운전관리에 인력투자가 많아야 하므로, 단위 에너지당 천연가스에 비해 약66%, 석탄산업에 비해서는 약27%정도의 고용증대 효과를 누릴 수 있음도 주목해야할 사항이다.

해외 에너지 수입의존도가 매우 높은 우리나라의 실정에서는 급변하는 해외정세에 따라 급변하는 국제유가 및 범지구적 국제환경 규제 분위기에 대응해야 할 핵심 미래에너지원의 확보를 위한 풍력산업의 육성이 절대적인 실정이다. 이러한 의미에서 풍력기술 분야가 갖는 의미는 다각적으로 분석되어 질 수 있으며, 다음과 같은 기술적 특성을 지니고 있다고 할 수 있다.

우선, 대외 에너지 수입 의존도 해소 및 분산형 전원개발에 부응할 수 있는 산업이며, 2001년 현재 세계적으로 24,900MW 풍력설비의 보급과 연간 54.5TWh/년 이상의 전력을 생산하는 청정 에너지 산업로서, 세계적으로도 가장 빠르게 성장하고 있는 발전 사업으로서 최근 5년간의 연 평균 산업규모 성장률이 39.5%에 이르는 고도 성장 기술이라 할 수 있다.

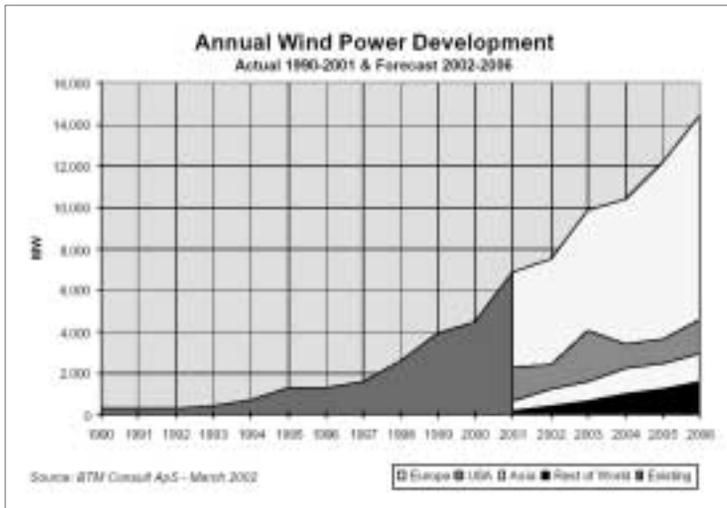
세계적으로도 2006년도 까지는 연간 20~25% 성장하고, 풍력산업의 시장규모는 100억\$/년에 이를 것으로 전망되고 있고, 2030년에는 세계 전력수요의 20%이상을 충족할 것으로 예상되는 기술로서 에너지 시장을 주도할 핵심 기술로서 주목받고 있다.

표 2. 풍력기술의 성장규모 추이

Year	Installed MW	Increase %	Cumulative MW	Increase %
1996	1,292		6,070	
1997	1,568	21%	7,636	26%
1998	2,597	66%	10,153	33%
1999	3,922	51%	13,932	37%
2000	4,495	15%	18,449	32%
2001	6,824	52%	24,927	35%
Average growth - 5 years		39.5%		32.6%

Source: BTM Consult ApS - March 2002

그림 1. 풍력기술의 향후 성장 추이



2. 풍력기술의 개발 및 보급동향

2.1 국내 시장 동향 분석

국내에서는 1970년대의 유류파동이후 풍력발전 연구를 시작하였는데, 1975년도에 한국과학원(KAIS)에서 경기도 화성군 엇섬에 설치한 2kW급 풍력발전기가 국내 풍력발전기의 효시이자, 풍력산

업의 시초라 할 수 있다. 그 이후, 1990년대 이전까지 약20여대의 소형 풍력발전기(1~14kW)가 계통연계형이 아닌 단위전원 공급용으로서 연구개발의 시제품으로 또는 외국으로부터 도입하여 설치되었으나, 지속적인 지원부족이나 관리 소홀 등의 이유로 대부분 철거되어 뚜렷한 성과를 올리지 못한 상태이다.

그러나, 90년대 들어 본격적으로 보급과 기술개발이 병행하면서 국내에서도 신뢰성을 이미 확보한 선진외국의 풍력설비를 도입하여 풍력발전

기에 대한 설치 운영 및 보급사업이 활발히 진행되었다. 한국에너지기술연구원이 제주 중문에 설치한 250kW급과 제주월령에 설치된 100kW급, 30kW급 풍력발전기의 운전을 통하여 계통연계용 풍력설비의 운전특성에 대한 연구를 수행하였고, 풍력발전기의 성능특성에 대한 각종 측정 및 분석작업도 병행되었고, 이외에도 1998년도부터 제주도청이 한국에너지기술연구원과 제주대의 기술자문으로 덴마크 VESTAS사의 600, 660kW 및 750kW 풍력발전설



비를 제주 행원 풍력발전 단지에 설치운전 중에 있으며, 1999, 2000 및 2001년도 사업으로서 2002년 5월말 까지 덴마크 NEG-MICON 750kW 풍력발전시스템 5기가 추가로 건설되어, 총 15기에 10,000kW에 이르는 상업적 풍력단지로서, 국내 최초로 본격적인 발전사업으로서 풍력발전 설비를 이용하는 의미 있는 사례로서 예시되고 있다.

이밖에도, 현재 남부발전(주)에서 제주 한경 풍력발전 단지에 6,000kW를 공급하고 있고 (주)유니슨에서 영덕지구에 40,000kW를 계통과 연계하여 정상가동되고 있다.

2.2 세계 시장 동향 분석

전세계적으로 풍력산업은 2001년도 한해에만도 신규 설치용량이 6,824MW로서 2000년도의 4,495MW에 비해 52%라는 비약적인 성장을 기록하고 있으며, 현재 전세계 전력수요의 0.35%를 분담하고 있으며, 이는 14백만 가구, 35백만 명의 인구의 전력 수요에 해당하는 막대한 용량이다. 풍력기술은 최근 5년간의 연평균 기술규모 성장률이 39.5%에 이르고 있는 세계에서 가장 빠르게 성장하

그림 2. 미국 캘리포니아 풍력발전단지 전경



고 있는 에너지 산업기술로서 알려져 있다.

다음의 <그림 2>에는 주요 풍력발전 단지의 실례로서 미국 California주내의 풍력발전 단지 전경을 보이고 있다. 현재 California주에는 약 13,000여기 1,200MW 규모의 풍력발전기가 운전중으로서 주로 Altamont Pass, Tehachapi Pass 및 San Gorgonio Pass등 3지역에서 운전중에 있으며, 최근 대규모의 풍력단지화로 인해 발전단가가 1993년도의 7.5센트/kWh에서 현재는 3.5센트/kWh 수준으로 향상되었고, 현재 건설중인 풍력단지의 경우에는 목표 발전단가가 3.2센트/kWh에 이르고 있는 실정이다.

다음의 <그림 3>에는 풍력선진국중의 하나인 덴마크내 Rejsby Hede의 600kW 풍력발전기 40기로서 건설된 24MW 규모의 풍력발전단지의 전경을 보이고 있는데, 연간 60GWh의 전력을 생산중에 있다. 덴마크 정부의 "Energy 2000" 계획에 의거하여 1995년도에 ELSAM전력회사에서 건설하여 운영중으로서, 연간 45,000톤의 이산화탄소와 150톤의 이산화황의 배출억제 효과를 갖는 것으로 분석되고 있으며, 총 1.5억DKK의 투자비가 소요되었고, 발전단가는 약 0.25DKK/kWh 정도로서 분석되고 있다.

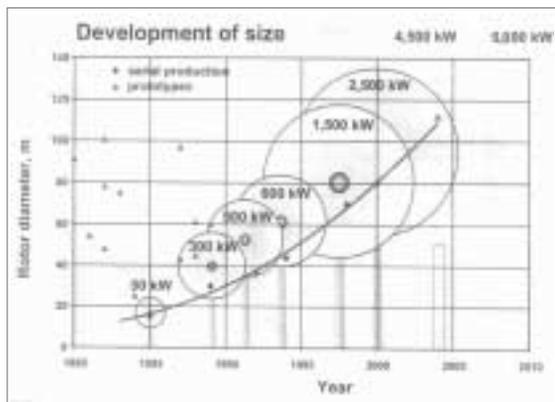
그림 3. 덴마크 Rejsby Hede 풍력발전단지 전경



한편, 풍력기술은 향후에도 2006년도 까지는 년간 20~25%정도로 성장하고, 기술의 시장규모는 100억\$/년에 이를 것으로 전망되고 있으며, 2020년에는 세계 전력수요의 12%, 2030년에는 20%이상을 담당할 것으로 예상되는 발전 지향적 산업으로서 에너지 시장을 주도할 핵심 기술로서 주목받고 있다. 이러한, 산업의 양적인 성장뿐만 아니라 기술의 질적인 측면에서도 발전을 거듭하여 최근에는 풍력기술에 의한 단위 풍력기기의 평균 용량도 대형화를 거듭하고 있는 상황이다. 단위 풍력발전 설비의 용량이 1980년대 초의 25kW에 비하여 현재는 750~1,300kW/대(세계 평균 : 915kW/대)로 커졌고 최근에는 2,500kW급의 단일 풍력발전기기가 상용화되기에 이르렀다. 2,500kW급 풍력발전 기기는 날개의 직경이 80m, 타워의 높이가 70~80m 정도에 이르는 거대 구조물의 규모를 하고 있다.

이밖에도, 선진 외국에서의 풍력산업의 보급형태가 대규모 단지화되고 있으며, 해양 풍력자원을 이용하는 풍력산업의 발전도 비약적으로 이루어지고 있는 상황으로서, 선진국에서는 해양풍력(offshore) 시장에 대비하여 3,000kW~5,000kW급의 대형 풍력발전 설비도 개발을 진행 중에 있다.

그림 4. 풍력발전 설비의 대형화 추이



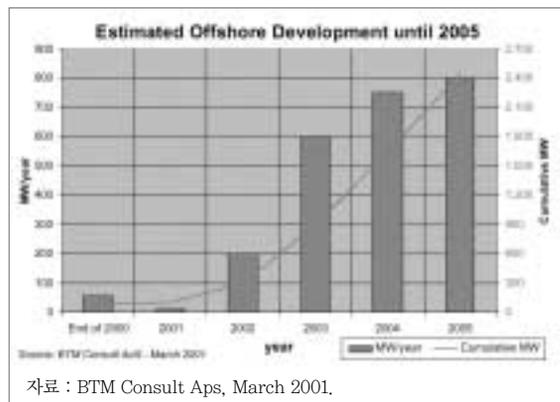
풍력단지의 규모로는 1990년대 중반까지는 5MW 이하의 소규모 풍력단지가 절대적인 비중을 차지하였으나, 이후부터는 5MW~100MW 사이의 대형 풍력발전단지가 급증하고 있고, 2000년대 들어서면서 5MW 이하의 소형 단지 및 분산 설치한 경우도 풍력발전 도입 지역이 전 세계로 확산되면서 비슷한 비율로 보급되고 있는 경향을 보이고 있다.

이러한, 대형 단지화의 추세는 풍력의 경쟁력 확보, 해양 풍력발전의 증가와 함께 지속적으로 증가될 것으로 전망되고 있다.

풍력산업의 양적, 질적 성장으로 인해 풍력산업의 가격 경쟁력도 매우 높아져서 풍력발전 설비에 의한 발전원가도 20년전에 비해 1/5수준으로 저감되었고, 최근 5년간만 보아도 20%의 획기적인 원가의 저감을 이루어 내고 있다. 이는 최근에 건설되는 석탄화력이나 가스발전에 버금가는 수준으로서 더 이상 화석 연료를 기반으로 하는 발전산업의 성장에 뒤쳐지지 않는다는 것을 보여주고 있다.

현재 풍력산업은 2001년도 기준 약 52억불/년 수준이며 설비비의 단가는 US\$765/kW이나, 2020년에는 풍력산업의 누적 규모가 1,260GW에 시장규모가 670억불/년, 설비투자비는 US\$447/kW로서

그림 5. 유럽의 해양 풍력단지 도입규모



자료 : BTM Consult Aps, March 2001.



표 3. 최근 풍력기술의 경제적 가치

연도	신규 설치 (MW/년)	설비비 (US\$/kW)	산업규모 (10억US\$/년)	누적 규모 (10억US\$)	고용효과 (Job-년)
2001	6,800	765	5.202	5.202	114,453
2002(예상)	8,500	740	6.291	11,493	138,403

자료 : Wind Force 12, EWEA and Greenpeace, May 2002.

현재 수준에 비해 약 41%정도의 저감효과가 있을 것으로 기대되고 있다.

2012년 세계 전력에너지 수요는 21,025TWh에 이르고, 풍력발전은 총 352,241MW가 설치되고, 연간 864.0TWh를 생산하여 세계 전력 수요의 4.11%에 이르고, CO2 저감은 연간 518백만톤, 누적으로 2,287백만톤/년의 절감이 가능할 것으로 예측되고 있는 실정이다. 아울러, 2012년의 시장 규모는 341,500억\$/년에 이르고, 고용효과는 751,300여명에 이를 전망이며, 2020년도의 풍력산업 규모는 매년 150,000MW의 설비가 설치되고, 3,000TWh/년의 전력을 생산하여, 전세계 전력에너지의 12%정도를 풍력으로 감당하게 될 것으로 전망하고 있다. 아울러, 2020년도의 풍력산업의 시장규모는 OECD Europe, OECD N. America, 중국 순으로서 커지게 될 것으로 예측되고 있다.

3. 풍력발전 계통연계기술

풍력발전에서 발전된 전력은 바로 계통과 연결되거나 전력변환장치(컨버터, 인버터 등)를 통해서 간접적으로 연계된다. 풍력발전이 계통과 직접 연계되기 위해서는 연계지점의 계통 전압, 주파수와 동기된 출력을 발전해야한다. 동기발전기의 경우 회전자들 동기속도로 회전시켜서 계통과 전기적으로 동기화시

킬 수 있고 유도발전기의 경우 회전자의 속도를 동기 속도보다 빨리 회전시켜 고정자에서 출력되는 전력이 계통과 동기를 이룰 때 직접 연계가 가능하다.

풍력발전이 계통의 전압과 주파수와는 상이한 출력을 내는 경우에는 계통에 직접 연계하지 못하게 된다. 이러한 경우 풍력발전의 출력을 계통의 전압, 주파수로 바꿔주는 역할을 하는 전력변환장치(컨버터, 인버터)가 필요하고 이러한 전력변환장치를 이용하여 계통에 간접적으로 연계될 수 있다. 이러한 풍력발전을 계통과 상호 연계하는 방법은 풍력발전의 발전 형태와 그 특성, 발전 용량, 그리고 연계지점의 계통 상황에 따라 다르게 된다.

3.1 동기발전기의 계통 연계

오늘날 사용되고 있는 대부분의 발전기들은 동기 발전기이다. 동기발전기는 교류 기계이며 정상상태에서의 회전자의 회전 속도는 동기속도로 일정하고 연계되어 있는 계통의 주파수와 동기를 이루고 있다. 동기발전기는 회전자에 여자전류를 흘려주는 별도의 여자기(Exciter)가 있어서 외부 전원이 없어도 자체적으로 기동하여 발전하고 계통에 연계될 수 있다. 동기발전기가 계통에 연계되어 운전될 때 발전기의 출력은 계통 전압 및 주파수와 정확하게 맞추어지도록 제어될 수 있다.

동기발전기는 유도발전기에 비해서 계통과 동기

를 시키고 또한 회전자에 여자전류를 제어하기 위해서 여자기(Exciter)나 조속기(Governor)와 같은 복잡한 제어장치가 필요하다. 또한 계통에서의 고장 등으로 단독운전이 발생할 경우 신속히 계통과 분리해야 하며 그러기 위해서는 별도의 보호장치가 필요하다. 동기발전기의 장점은 계통으로부터 분리되어 전력을 공급받지 못하는 상황에서는 자체 부하에 전력을 공급할 수 있는 자립운전이 가능하다는 것이다. 또한 발전기 소유자는 여자전류를 제어해서 구내의 역률을 조정할 수 있는 장점을 갖고 있다.

3.2 유도발전기의 계통 연계

유도발전기는 동기발전기와 다르게 회전자에 전류를 흘려주는 여자기가 없고 고정자에 인가되는 교류전류에서 회전자의 자화전류를 공급 받는다. 따라서 일반적으로 유도발전기는 자화전류를 공급해주는 외부 전원이 없는 상태에서 스스로 기동하지 못하는 특성을 갖고 있다. 이렇게 외부 전원이 없으면 유도발전기는 기동을 하지 못하게 되므로 항상 계통과 연계가 되어 있어야만 운전이 가능하다. 그러나 어떠한 경우에는 계통과 분리(단독운전 발생)되는 경우에도 계속 전력을 생산하는 경우가 발생한다. 이러한 현상을 자기여자현상(Self-excitation)이라고 한다. 이러한 현상의 원인은 단독운전 발생 후에 유도발전기에 자화전류를 공급할 수 있는 충분한 용량의 역률 개선용 콘덴서나 콘덴서 부하 등이 단독 계통(Power Island)에 존재하고 있을 때 발생할 수 있다.

유도발전기를 기동하여 계통에 연계시키는 통상적인 절차는 원동기를 사용해 유도기를 동기속도나 그보다 약간 높은 속도로 가속시킨 다음 차단기를 투입하는 것이다. 유도발전기는 계통의 회전자계 속

도보다 빠르게 회전할 때 발전기로서 동작하게 되므로 계통의 회전자계 속도 이하에서 계통에 투입되면 전동기와 같이 동작하여 큰 돌입전류가 배전계통에 흐르게 되어 급격한 전압강하를 발생시켜 과전류 계전기나 저전압 계전기의 오동작을 발생시킬 가능성이 있다. 마찬가지로 회전자계의 속도보다 큰 속도에서 배전계통에 투입될 때 계통에 심각한 영향을 미칠 수 있다. 따라서 유도발전기의 계통연계는 배전계통에서 발생하는 과도현상을 최소화하기 위해서 고정자의 회전자계 속도(동기속도)와 같게 하여 이루어지는 것이 일반적이다.

3.3 풍력발전 계통연계형태

풍력발전기는 형태에 따라 농형 유도발전기, 권선형 유도발전기, 일반권선형 동기발전기, 영구자석여자 동기발전기로 구별되며, 이들의 기본구성은 그림 6, 7, 8에 나타내었다. 한편 이들 각각에 대한 특징을 설명하면 다음과 같다.

- 농형 유도발전기 : 발전기의 구조는 간단, 출력특성상 운전 폭이 매우 좁다.
- 권선형 유도발전기 : 가변속 정주파수 운전이 가능하고, 회전자 회로를 통한 여자제어로 운전영역의 확장이 가능하다. 발전기 자체의 한정된 출력비(출력/무게 : kW/kg) 때문에 부피가 크고, 기어가 필요하기 때문에 발전기 지지대 등 튼튼한 하부구조가 필요하다.
- 일반 권선형 동기발전기 : 가변속 정전압 운전이 가능하고, 전력변환장치에 의한 정전압 정주파수 변환이 가능하므로 터빈선택의 폭이 넓은 편이다. 다극기 제작에 의한 기어 없는 형태의 발전기가 가능하고, 높은 효율과 역률을 나타내고 있다.



그림 6. 농형 유도발전기(AC/AC 연계방식)

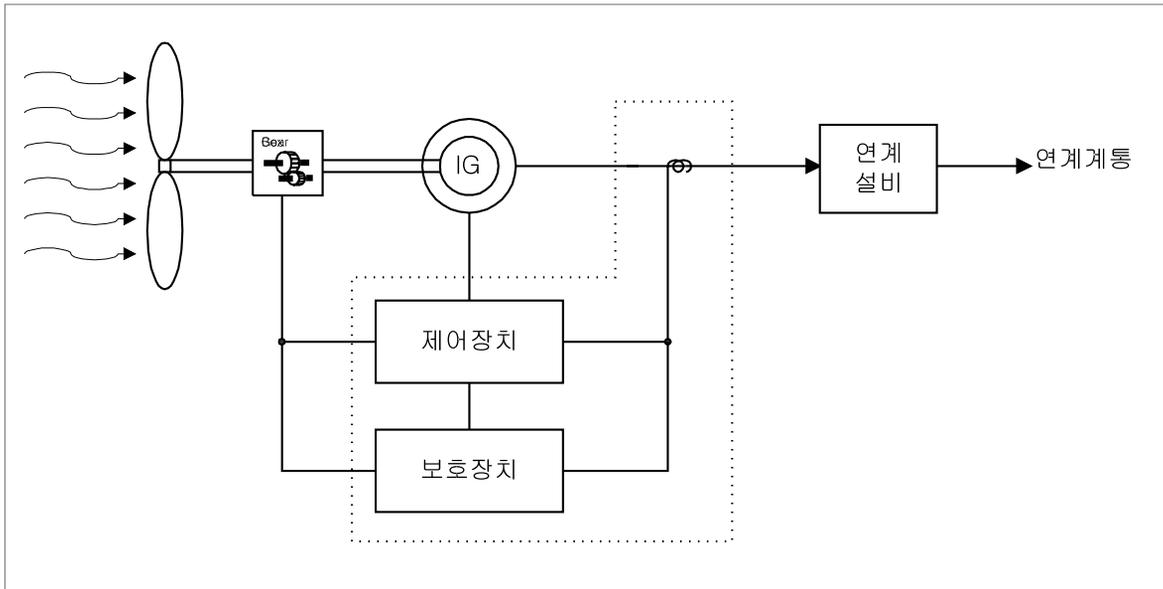
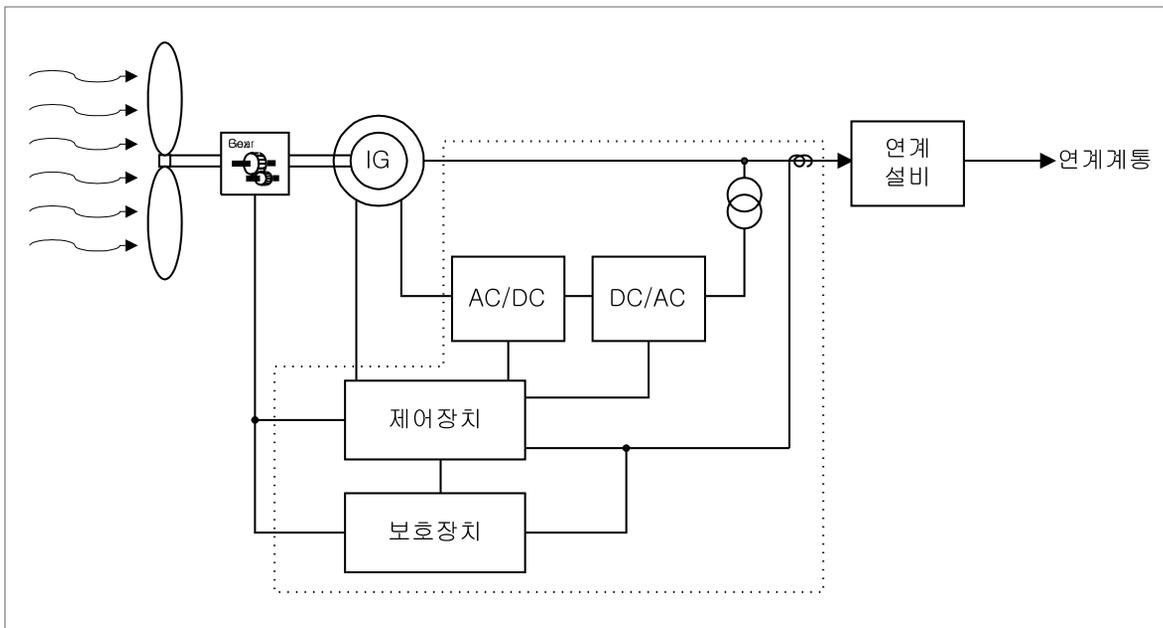


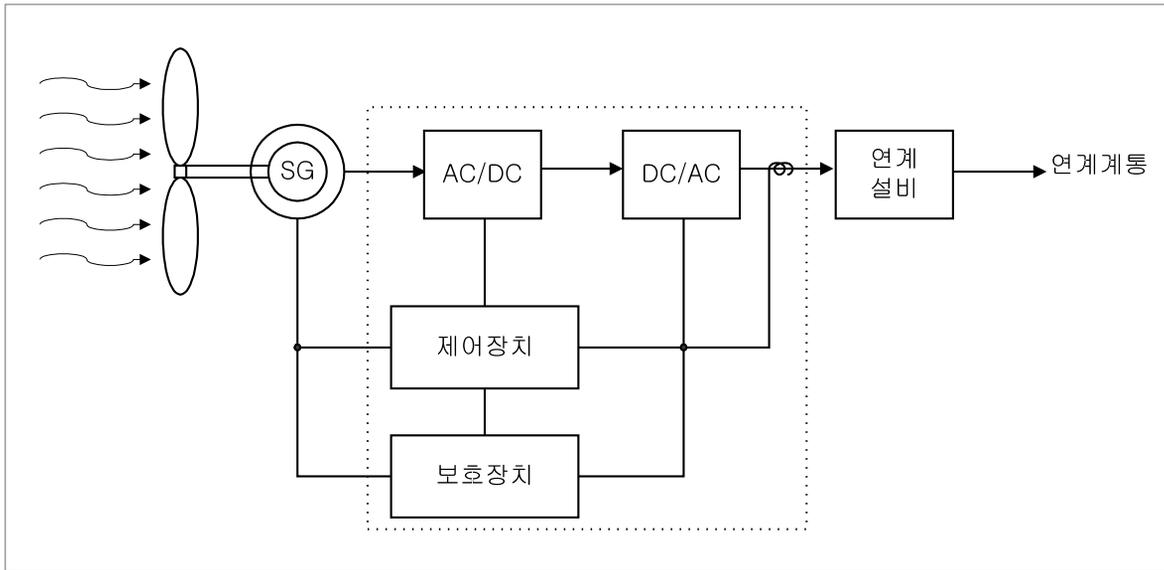
그림 7. 권선형 유도발전기(AC/AC 연계방식)



○ 영구자석여자 동기발전기 : 새로운 영구자석 재료와 설계기술의 발달로 높은 출력밀도를 가지는

영구자석여자 동기기가 산업의 전반에 적용되고 있는데 이를 풍력발전에 적용 시 다음과 같은 장

그림 8. 일반권선형 또는 영구자석 동기발전기(AC/DC/AC 연계방식)



점이 있다.

- 넓은 운전범위와 고효율
- 발전기의 고효율비(kW/kg)
- 경량화된 발전기와 기어 없는 구조에 의한 하부 구조의 경량화
- 유지보수의 간략화(슬립링과 브러시 필요 없음)

풍력발전설비의 제어기는 기계적 제어장치(피치각제어, 요각제어, 브레이크제어), 발전기의 제어·보호장치 및 전력변환장치와, 교류계통과의 인터페이스에 필요한 연계설비로 구성된다. 발전기와 전력 변환장치의 구성에 따라 AC/AC 링크방식과 AC/DC/AC 링크방식으로 나눌 수 있으며, 연계설비의 구성은 태양광발전장치의 경우와 마찬가지로 계통연계보호장치(보호계전장치, 차단기, 개폐기)+변압기+측정설비+보상장치(필터, 역률보상장치 등) 등으로 구성되어 계통과의 병렬운전을 안전하게 수행하게 한다.

3.3.1. 기계적 제어장치

기계적 제어장치에는 날개의 피치각을 제어하는 기능, 풍향에 대해서 고효율로 에너지를 얻기 위한 요각을 제어하는 기능, 강풍 및 이상시 또는 보수점검시 로터를 정지시키는 브레이크 기능 등이 포함되어 있다. 가변피치제어장치는 날개의 각도를 풍속 및 출력에 대응하여 변화시키는 장치로서, 출력조정, 저풍속에서의 기동가능, 강풍 등에 대한 유연성, 고효율 등의 잇점이 있다. 가변피치제어, 요각제어, 브레이크제어 등은 풍력발전장치에 있어서 주요한 기능이므로 대부분의 장치의 경우 이들은 마이크로프로세서에 의해 전체적으로 제어하는 형태로 제작되고 있다.

3.3.2. 발전기의 제어·보호장치

계통연계형 풍력발전장치의 경우, 바람에 의해 얻어진 전력은 전부 연계계통에 공급하는 형태가 바람직하므로 부하추종운전 또는 정출력 운전 등의 유효



전력제어요소는 그다지 중요하지 않다. AC/DC/AC 방식의 경우, 풍력발전기(동기발전기)가 일정하게 60Hz가 유지되기가 어려우므로 정류기의 설계 시 이를 고려하여 주파수 추종방식의 정류방식을 선택해야 한다. 또한 역률조정 관계는 변환장치와의 협조에 의해 계통연계점에서의 출력 역률을 조정할 수 있도록 해야 한다. 또한 변환장치의 효율향상과 고조파 저감대책을 고려하여야 한다.

AC/AC방식의 경우는 그 적용되는 발전기가 대부분이 유도발전기인데 기동시의 돌입전류억제를 위한 한류리액터의 제어기능 및 역률 보상용 콘덴서의 제어기능이 필수적이다. 권선형에서는 2차여자권선의 삽입으로 피치제어와 협조하여 안정한 슬립 운전점을 확보할 수 있는 이점이 있다.

3.4. 계통연계설비

연계설비의 구성은 계통연계보호장치(보호계전장치, 차단기, 개폐기)+변압기+측정설비+보상장치(필터, 역률보상장치 등) 등으로 구성되어 계통과의 병렬운전을 안전하게 수행하게 한다. 특히, 유도발전기의 경우 소프트기동을 위한 한류리액터, 역률보상용 콘덴서와 이의 투입·계통분리제어장치 등이 포함되어야 하며, 자기여자에 의한 철공진 현상방지를 위한 용량선정도 고려해야한다. 측정설비로서는 인버터의 제어에 필요한 피드백 요소인 전압, 전류, 주파수 등을 측정할 수 있는 설비로 이들은 보안감시용으로도 필요하다. 또한 역조류가 있는 경우는 전력회사와의 전력요금산정에 필요한 유효전력량계 및 무효전력량계를 설치할 필요가 있다.