

풍력 에너지 개발 현황 및 전망

김 전 훈

한국에너지기술연구소



● 1960년생
● 긴 회전자의 동특성 해석을 전공하였으며 풍차 관련 회전자의 풍력 특성, 동특성 및 소음해석에 관심을 가지고 있다.

1. 머리 말

풍력 에너지는 순수한 자연 에너지이며, 생태계에 미치는 영향과 환경공해가 없는 청정한 에너지로서 시대적 요구에 따라 이에 대한 개발을 유도하고 있다.

풍력 발전 시스템은 부존 에너지 자원의 최대 활용과 화석에너지의 절감을 위하여 지난 수십년 동안 세계 각국에서 광범위하게 연구 개발되어 왔으며, 이에 관한 기술은 최근 급격히 진보되었다. 특히 '80년대 들어 미국과 덴마크를 중심으로 세계 각국은 연구개발에 박차를 가하여 상용화는 물론이고 대량생산에 의한 경제성 향상에 주력하고 있을 정도이다. 또한 풍력 발전 시스템 설계 및 제작에 관한 최근 기술은 단일기로 메가와트(MW)급 출력을 얻을 수 있는 대형 시스템으로 진전되고 있으며 머지 않아 기존 에너지원과의 경쟁이 가능할 것으로 전망된다.

국내에서도 1974년 석유파동 이후 대체에너지 개발의 일환으로 풍력발전 시스템을 이용하기 위한 시도가 있었으며, 그 이후 '70년대 말까지 간헐적으로 연구를 지속하여 왔으며 1980년 이후에는 국내 연구 기관에서 소형 풍력 발전 시스템에 관해 연구하여 왔다.

이에 이 글에서는 10여 년 사이에 비약적인 발전을 거듭하고 있는 선진제국의 풍력발전시

스템 개발 및 보급현황을 살펴 국내의 풍력에너지 개발에 관한 이해와 관심을 집중시키고자 하였고, 이를 통한 국내에서의 풍력발전시스템의 개발역사 및 현황을 살펴보고 풍력발전시스템 개발의 적절한 모델을 제시하고자 한다.

2. 풍력발전 선진기술의 현황 및 개발 동향

최근 일련의 에너지 파동은 그 에너지의 편중된 부존분포와 잔여 가용량에 있어서의 불안정한 요소를 그대로 반영하는 것으로서, 단기적으로는 에너지 수급상황이 호전된다 하더라도, 장기적으로는 기존 화석에너지의 제한된 가용량 및 파급효과(공해 및 오염)로 인해, 결국은 화석에너지를 대체할 새로운 청정에너지(clean energy)원의 확보에 세계 각국은 국가적인 총력을 기울이고 있는 상황이다.

우리 나라도 화석에너지를 대체할 대체에너지원의 개발에 적극적인 의사를 보이며 추진중에 있으나, 아직은 선진 외국에 비해 기반 기술의 낙후 및 연구개발 투자비의 어려움으로 말미암아 대체에너지 개발기술이 전체적으로 뒤쳐져 있으며, 선진외국으로부터의 기술도입도 쉽지 않은 상황에 처해 있다. 따라서, 우리나라와 같은 상황에서는 적절하고 효과적인 연구개발의 투자를 위해 우선 선진외국의 기술적 현황과 추후의 기술개발을 위한 개발동향을 염

밀히 분석하여, 이를 근거로 효과적인 기반기술의 활용 및 효과적인 연구개발비의 투자를 유도하여야 할 것이다.

2.1 풍력에너지의 활용 필요성 및 현황

(1) 풍력에너지의 활용 필요성 및 경제성

최근들어 부각되고 있는 환경문제, 즉 화석에너지의 소비로 인한 부산물로 인해 대기오염, 산성비 및 지구의 온실효과 등이 발생하여 점차로 심각한 문제의 양상을 띠고 있는 실정하에서 불안정한 세계의 에너지 시장상황과 공해문제를 고려하여 세계각국이 재생에너지원(renewable energy resources)의 개발에 박차를 가하고 있는 것은 오히려 당연하다 할 것이다. 또한 기존의 화석에너지에 비해 재생에너지원은 비교적 전세계적으로 고르게 분포되어 있을 뿐만 아니라, 재생에너지원의 개발에 관한 기술은 화석에너지원의 이용기술에 비해 단순성(simplicity), 신뢰성(reliability), 경제성(economy) 및 유지 관리성 용이성(ease of maintenance) 등으로 인해 선진기술국과 개발도상국의 기술적 공유가 가능한 특징을 갖고 있다.

현재 인류가 처한 가장 큰 환경파괴 문제는 산성비(acid rain)와 온실효과(greenhouse effect)에 기인하며, 많은 세계적인 과학자들이 석탄, 석유 및 천연 가스 등의 기존의 화석에너지의 연소에 수반하여 방사되는 물질에 의해 이러한 현상이 발생함을 밝혀낸 바 있다. 미국의 경우에도 전체 황산화물의 65%, 질소산화물의 29%, 탄소산화물의 33% 정도가 기존의 화석연료에 의한 발전방식에 의해 방출되는 것으로 알려져 있어,^(1,2) 기존 화석에너지원에 의한 환경파괴는 이제 심각한 지경에 이르게 되어 재생에너지원 개발에 의한 문제해결 방법 이외에는 특별히 제시되지를 못하고 있는 실정이다.

풍력발전에 의한 전력생산의 파급효과로서 그림 1에 매 kWh의 전력을 생산할 때 발생하는 탄소산화물의 방사량을 나타내고 있는데,

기존의 에너지원에 의해 방사되는 공해물질은 0.5~1kg 정도이나, 풍력에너지 활용에 의한 전력생산시에는 전혀 공해물질이 방사되지 않아서 연간 수백만 톤의 공해물질 배출억제 효과를 나타내는 청정에너지로서의 활용 필요성을 보이고 있다.^(1,2)

재생에너지인 풍력에너지 활용에 의한 풍력발전기술은 기술적 진보, 대형화, 효율적 생산 공정 및 기술적 경험의 축적으로 말미암아 그 전력생산 단가는 점차 하향 곡선을 그리게 될 것이 당연하다. 현재 약 2만 대의 풍력시스템을 운전하고 있는 미국의 경우도 설치용량 및 운전대수의 증가에 따라 전력생산 단가 및 유

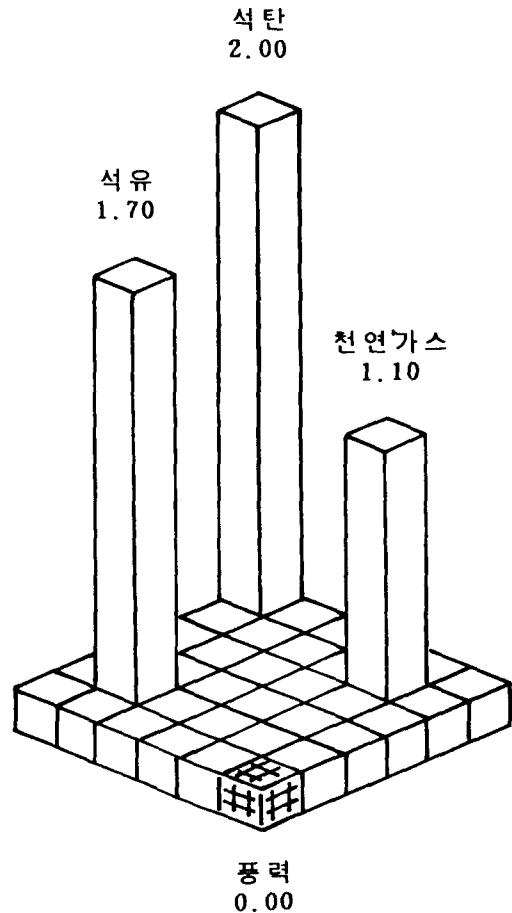


그림 1 에너지원별 매kWh의 전력발생시 발생하는 공해물질의 량

지비용의 절대적인 하향 추세를 나타내고 있으며 현재 다른 에너지원에 대한 풍력에너지의 경제적 위치를 그림 2에 보이고 있다.^(1,2)

그림 2의 각 발전단가는 각 발전방식에 있어서의 주요한 비용항목 즉 설계, 제작 및 설치, 플랜트의 수명기간 동안의 평균운영유지 비용을 총괄하여 포함시킨 비용에 대한 수명기간 동안 평균 발전단가를 나타내는 것으로서, 좋은 풍속 조건하에서 잘 설계된 풍력발전시스템은 매 kWh당 6~8센트 정도의 비용으로 전력을 생산할 수 있음을 보이고 있어, 풍력에너지의 타에너지원에 대한 경쟁력 있는 경제성을 나타내고 있다.

이밖에도 풍력에너지의 활용은 부수적으로 다음과 같은 파급효과를 갖게 된다.

- 화석에너지에 대한 의존도 축소
- 전력수급 계획의 융통성
- 설치지역에서의 운전 보수로 인한 현지 고용
- 목초지나 농경지의 다목적 활용 및 고립지역 또는 황무지의 활용

따라서, 부수적인 파급효과가 큰 풍력에너지의 활용에 대해 파급효과 자체를 정량화하여 에너지 생산비용에 가감하게 되는 사회적비용(social cost)을 계산하면, 1988년 CEC(commission of the european communities)를 위한 연구에서 서독의 경제학자 Olav Hohmeyer는 풍력발전시스템은 매 kWh의 전력 생산시 오히려 약 4센트 정도의 사회적이득(social benefits)을 발생시키지만, 화석연료는 자원의 고갈 및 환경에 미치는 악영향 등을 고려하여 매 kWh의 전력생산시 3~7센트 정도의 사회적 비용이 추가됨을 발표하여 풍력에너지의 개발을 적극 주장하였다.

(2) 풍력에너지의 활용 현황

인류 역사상 최초의 풍력에너지 이용은 BC 200년 경의 페르시아에서 곡식을 분쇄하는 데 바람의 힘으로 회전하는 수직축 기계를 이용함으로써 시작되었고, 14세기에 이르러 네덜란드에서는 기존의 풍차를 개량하여 관개 및 양수 등에 이용하기에 이르렀다.⁽⁸⁾ 20세기 초에 이

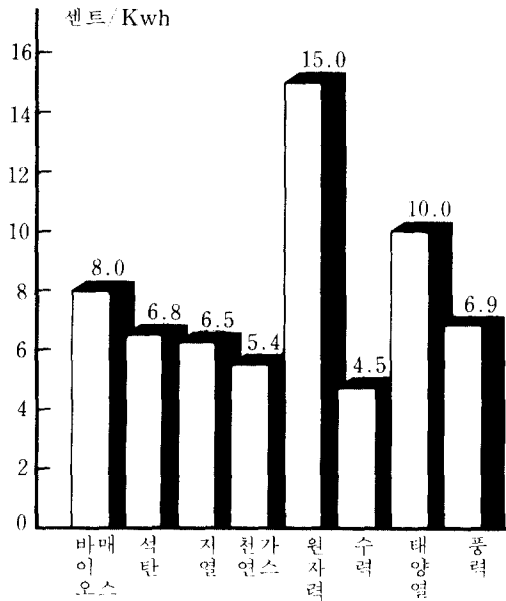


그림 2 에너지원별 발전단가

르러서는 수천 대의 소형풍차가 개발되어 미국, 북유럽, 아프리카 및 기타 지역에서 양수와 발전에 이용되고 일부 실험적으로 대형시스템이 북미 및 유럽에 설치 실험운전되다가, 1950년대에 이르러서는 값싼 화석연료에 의한 전력 발전방식에 의해 풍력발전은 잠시 사양길에 접어들게 되었다. 그러나 1974년도에 300%가량의 유가급등으로 인한 에너지파동에 의해, 풍력에너지는 다시 대체에너지원으로서의 자리를 잡게 되어, 정부 지원의 연구개발 프로그램이 북미 및 유럽을 중심으로 활발하게 진행된 결과, 근대적 풍력산업(modern wind industry)의 출현이 가능하게 되었다.

1981년 이후로는 기존의 계통선과 연계운전이 가능한 대형 시스템의 개발에 주력하여, 그 정격용량이 현재 1,700Mw 규모에 이르고 있으며 그 설치대수가 북미와 유럽을 중심으로 점차 증가 일로에 있는 실정이다. 미국의 경우에는 10년 미만의 짧은 기간 동안 총 1,500 Mw의 정격용량을 갖는 16,000대 가량의 풍력발전시스템을 건설함으로써, 거의 수직적인 발

전을 거듭해 왔음을 알 수가 있고 1989년 한 해 동안 풍력발전애 의해 실제로 생산된 전력 에너지는 26억 9,000만 kWh의 막대한 양에 이르고 있다.

현재 가장 활발히 풍력에너지를 활용하고 있는 미국의 캘리포니아주의 활용현황을 살펴보면, (3) 미국 전체인구의 약 11%와 전세계에서 여섯번째의 경제규모를 지닌 캘리포니아주의 입장에서는 에너지 수급관계의 안정화는 필수적인 선결문제로서, 1970년대 후반부터 1980년대 초반까지의 전진적인 정책의 채택으로 말미암아, 현재 캘리포니아는 세계적인 재생에너지 개발 및 활용의 모델로 등장하였다. 현재 주내에서 생산되는 전력의 약 10% 이상이 풍력, 태양열, 태양광, 지열과 바이오매스 등과 같은 대체에너지로써 생산되고 있으며, 약 25억 불 이상의 투자가 풍력사업에만 집중되고 있는 형편이다. 따라서, 1989년도에 막대한 투자에 힘입어 풍력에 의한 발전량이 20억 kWh를 넘어섰으며, 이는 샌프란시스코나 워싱턴 D.C.의 인구보다 많은 9십만 명 정도의 주민이 사용할 수 있는 막대한 양의 전력이며, 1990년대 중반까지는 주내의 최대 전력회사인 SCE(southern california edison) Co.와 PG & E(pacific gas and electric) Co.에 대한 풍력발전의 전력 판매량이 인구 백만 명 정도의 도시에 공급할 수 있는 약 30억 kWh 정도에 이를 것으로 추정되고 있으며 풍력발전애 의한 원유절감량은 350만 배럴에 이르고 있다. (3)

비록 미국이나 덴마크뿐만 아니라 현재 세계의 여러 각국에서 풍력에 대한 연구개발애 한창이고, 날로 그 기술수준이 발전하여 현재는 수년 전의 발전단가 보다도 더욱 저렴한 비용으로 고도의 신뢰성(reliability)과 생산성(productivity)을 유지하는 시스템의 생산이 가능하여 새로운 풍력발전시스템의 설치대수와 용량은 매년 비약적으로 늘어가고 있으며, 10년 전 캘리포니아주 내에서도 거의 찾아보기 힘들었던 풍력발전 시스템이 현재는 고도의 기술발전애 힘입어 약 14,000대 정도가 110Km²

(3천3백만 평)의 광활한 대지위에 설치되어 정격용량이 1,350Mw에 이르고 있을 정도로 빠른 속도로 발전을 거듭하고 있다.

이와 같은 많은 기술개발 노력과 실제 시스템의 건설 및 운전경험의 축적으로 많은 풍력 산업체에서는 새로운 풍력 터빈의 설계나 기존 시스템의 운전성능 개선을 통하여, 풍력발전시스템의 생산성이라 할 수 있는 시스템당 연간 평균발전량을 그림 3과 같이 1989년도에는 1984년도에 비해 약 3배 정도 향상시킨 150,000kWh/대/년 까지 끌어 올릴 정도로 발전해 있으며, 이는 시스템의 연간 운전가용시간의 향상(좋은 조건의 경우 약 95% 정도)을 통한 풍력발전시스템의 신뢰성 확보애 주로 기인한 것으로 생각할 수 있다. (3)

다른 태양에너지원과 마찬가지로 풍력발전시스템도 설치 초기애 자본이 집약되어 투자되어야 하지만, 기존의 발전 방식애 비해 유지 보수 및 연료비용이 석탄 및 원자력발전애 대해 거의 절반 수준인 1.4센트/kWh에 불과하여, 최근의 미 에너지성(department of energy)의 보고서애 의하면 설치지점의 평균 풍속조건이 약 7미터/초 이상인 지역에서는 풍력발전의 발

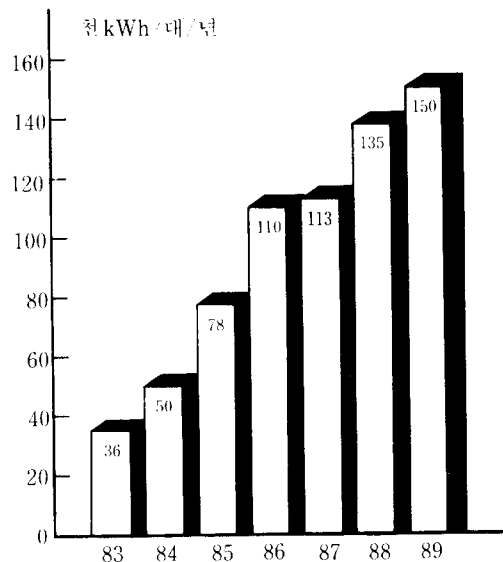


그림 3 캘리포니아주 내의 풍력에너지 생산성 변화

전단가가 5~7센트/kWh 정도가 되고, 평균 풍속이 약 6미터/초 내외인 지역에서는 발전단가가 6~9센트/kWh 정도가 될 것으로 보고된 바 있다.⁽²⁾

이렇게 풍력발전에 의한 경제적인 전력에너지의 생산이 가능하게 되어, 그 동안 풍력 산업의 발전을 유도하였던 미 연방정부의 세제혜택(federal energy tax credits)이 1985년도 이후에는 중단되었으나, 그 이후로도 지속적인 기술개발과 시스템 설치에 대한 투자가 이루어져서 현재 캘리포니아주 내에 설치되어 운전중인 풍력발전시스템의 약 47% 정도의 용량이 연방정부의 세제혜택이 중단된 1985년도 이후에 설치되어 운전 중인 것은 그만큼 풍력에너지의 활용에 의한 전력에너지 생산이 이제는 기틀을 잡아가고 있음을 단적으로 나타내고 있다고 할 수 있다.

또한, 앞서 언급한 바와 같이 풍력에너지는 재생될 수 있을 뿐만 아니라 청정 및 무공해의 에너지원으로서, 1989년도 한 해 동안만 하더라도 캘리포니아주의 풍력에너지 생산으로 말미암아 20억 파운드 정도의 탄소산화물과 1300만 파운드 정도의 공해물질의 방사가 억제되는 효과를 보았고, 이는 9천만 내지 1억8천만 그루의 나무가 내는 청정효과와 동등한 것으로 알려져 있다.⁽³⁾

현재 미국내에서도 전체 전력소요량의 0.1% 정도만이 풍력에너지로 공급되고 있으나, 차기 10년 동안의 비약적으로 향상될 발전속도를 감안하여, 에너지성(DOE)에서는 2000년대까지는 현재 캘리포니아에서 생산되는 양의 약 10배 정도의 전력에너지가 생산될 수 있으리라 예측하고 있고, California Energy Commission과 전력회사인 PG&G사에서는 캘리포니아에서의 풍력사업을 "remarkable success story"라 규정하고 2002년도까지 풍력에너지는 가장 새롭고 경제적인 기반을 갖는 에너지원으로서 등장하게 되리라 예측하고 있으며, 궁극적으로는 미국내 전력소요량의 5~10% 정도를 담당하게 될 것으로 기대하고 있는 실정이다.

2.2 선진외국기술의 현황 및 기술분석

(1) 선진 외국기술의 현황

앞서 언급한 바와 같이 미국과 덴마크를 중심으로 하여 전세계적으로 풍력발전시스템이 설치 운전 중에 있어, 10여 년만에 현재 정격용량이 1,700Mw에 이르며 설치대수는 약 17,400여 대에 이를 정도로 빠른 성장을 보이고 있는데, 이는 풍력에너지 활용의 필요성과 중요성을 이미 파악한 선진 외국의 범국가적인 지원 및 연구개발 노력과 근대적인 풍력산업을 주도하고 있는 풍력 관련 산업계의 지대한 공헌 덕분이라 할 수 있을 것이다.⁽¹⁰⁾

현재 가장 앞선 풍력관련 기술의 보유국인 미국의 경우에도 70년대의 에너지위기 상황에 적극적으로 대처하여, 대체에너지원의 기술개발을 위한 막대한 재정적 지원과 1985년도까지의 풍력발전 민간기업에 대한 세제혜택 등으로 오늘날의 풍력관련 선진국으로서의 위치를 확고히 하고 있는 것이다. 또한, 덴마크도 풍차에 관한 오랜 역사로 말미암아 현재 활발히 풍력사업에 대한 관심 및 연구개발 노력을 기울이지 않고 있는 실정이다.

미국의 경우 풍력발전 기술개발분야를 위해 미 에너지성(US DOE)과 CORECT(committee for renewable energy commerce and trade)를 전문적인 연구개발 지원기관으로 활용하고 있으며, 연방정부의 풍력에너지 개발 계획에 의해 많은 과학/기술자들이 신뢰성(reliability)과 경제성(cost-effective)인 풍력시스템의 기술개발에 노력하고 있다.

현재 미국 내에서 기술개발에 힘쓰고 있는 분야를 요약하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

○ 구조역학(structural dynamics)적 기본연구 : 바람 등과 같은 외란(external disturbance)에 대한 풍차터빈의 구조적 반응도의 예측(structural response)

○ 공기역학(aero dynamics)적 기본연구 : 회전하는 터빈상의 공기역학적 현상해석 및 공력예측

○ 대기과학(atmospheric fluid dynamics)적

기본연구 : 풍력터어빈에 영향을 주는 대기의 거동(behavior) 예측

○ 첨단 설계법(advanced concepts)에 관한 연구 : 개선된 공력특성을 갖는 터어빈, 변속운전 풍력터어빈(variable speed wind turbine)의 개발

○ 주변 보조기술(supporting technology)에 관한 연구 : 신뢰성 있는 풍력/디젤 복합발전기술의 개발

또한, 연방정부의 기술개발 노력은 하드웨어적인 기술에 그치는 것이 아니라, 소프트웨어적으로도 대기과학적인 입장에서 바람의 거동, 좀더 경제적이고 효율이 향상된 풍력터어빈의 설계 및 적절한 풍력터어빈의 위치선정으로 인한 에너지손실의 최소화 등을 모델링(modeling)하여 해석할 수 있는 컴퓨터 프로그램의 개발과 검증에도 개발노력을 기울이고 있으며, 기술개발된 결과에 대해서도 기술개발의 가속화 효과를 위해 여타의 풍력산업체와 공유하는 방식의 합리적인 기술개발 체제로써 전체를 이끌어 나아가고 있다.

현재 평가되기는 연평균풍속이 5.8미터/초 이상의 지역에서는 기존의 다른 에너지원에 대해 풍력에너지가 경쟁력이 있음이 밝혀졌으며, 기술개발을 통한 시스템 수명의 연장과 연간획득 에너지량의 증가로 점차로 경쟁력을 지닐 수 있는 지역이 미국뿐만 아니라 세계 각국으로 확산되어 가고 있고, 미 연방정부의 기술개발의 목표인 유지 보수 및 연료비용 0.5센트/kWh와 운전가용도(availability) 95%의 달성도 이미 부분적으로는 이루어진 상태이다. 따라서, 전체적으로 연간 획득에너지량, 초기 설치비 및 주요 부품의 수명연장 등과 관련한 기술수준은 약 40~60% 정도의 성능 향상을 이루었으며, 이 후로도 일반 산업체, 전력회사 및 대학들과의 공동 연구를 통해 새로운 기술개발의 목표를 달성코자 지속적인 노력을 기울일 계획을 갖고 있다.

(2) 선진 외국기술의 선진기술 분석

풍력발전시스템의 기술수준은 대략적으로 시

스템의 규모로써 구분할 수 있는데, 시스템의 규모는 시스템의 효율성 및 생산성을 고려한 운전방식에 따라 구분된다고 할 수 있다. 즉, 선진 외국에서는 에너지를 공급할 지역의 부하용량(load capacity) 및 풍력 발전시스템의 효율성 등을 고려하여, 수백W의 규모에서 수 MW의 규모까지 다양한 풍력 발전시스템을 개발하여 다양한 운전방식으로 이용하고 있다. 현재 선진 외국에서 운전하고 있는 방식은 크게 네 가지로 나눌 수 있는데, 단위동력 또는 전원공급방식(small stand-alone power system), 복합발전방식(hybrid wind power system), 분산계통연계방식(dispersed grid-connected wind power system) 및 풍력단지(wind power plants)로 나눌 수 있고, 각각의 방식에 따라 기술적인 특징을 지니고 있다.

그림 4에는 전형적인 단위전원공급방식의 계통도를 나타내고 있는데, 이 방식은 계통선 연계가 불가능한 지역에서 주로 이용되고 있으며, 풍력시스템의 규모는 수kW 정도에서 수십 kW 정도이며 경우에 따라서는 안정적인 전원의 공급을 위해 태양광발전 또는 소형 디젤발전과의 복합발전 형태로 운전되기도 한다. 금세기 초까지만 해도 약 600만 대 이상의 소형(주로 1kW 미만)시스템이 전원공급 및 양수용으로 이용되었고, 미국의 경우에는 1930년도 이후로 남극점의 관측기지에서 전원공급용으로 소형 풍력발전시스템을 이용하고 있다.

복합발전방식은 기존 전원공급을 위한 연료의 사용절감이 경제적인 효과를 나타낼 수 있는 지역에 주로 이용되는 방식으로서 풍력/디젤복합식이 현재 가장 널리 이용되고 있으며 디젤발전의 의한 디젤유의 소비를 절감하는 목

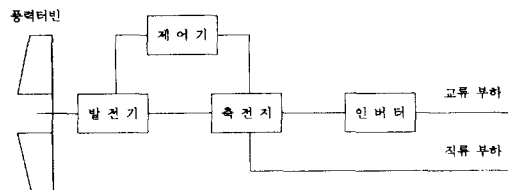


그림 4 단위 전원방식 계통도

적으로 많이 이용되고 있고, 주로 연평균풍속이 4미터/초 이상이고 최소의 부하용량이 100 kW 이상의 도서지방이나 오지의 통신소 등에서 많이 이용되고 있다. 이 방식에서 풍력발전은 디젤발전을 보조하는 역할을 하는데, 바람이 불어 풍력에 의해 전력이 생산되면 곧바로 분배장치를 통해 일반부하로 전달되고, 제어기는 이를 감지하여 디젤발전의 부하를 줄이는 방식으로 운전되며, 보통 복합발전방식은 다양한 규모와 다양한 용도로 구성될 수 있는데 미국의 경우에는 DOE에서 공동연구협회 프로그램 하에 시스템의 모델링과 시장조사를 수행하여 일반산업계를 지원하여, 기술적으로 적절한 복합발전방식의 설계가 가능하게 하고 있다.

또 다른 형태의 방식으로는 분산계통연계방식이 있는데, 이는 일반가정용, 농업용, 상업용 또는 작은 규모의 산업용의 전원공급용으로 이용되는 방식으로서, 소비하고 남은 전력은 다시 계통선으로 회귀하게 되며 시스템의 규모는 일반가정용의 경우는 5~10kW 정도이나 대규모 농업용이나 상업용 또는 산업용으로는 수백kW급 규모의 작은 단지형태로 운전되기도 한다.

앞서 언급한 여러 가지 운전방식 중에서 가장 경제성있는 방식으로 전망되고 있는 풍력단지는 풍력에 의한 전력에너지의 집중생산 및 중앙공급이 가능하여, 선진 외국에서는 대규모의 풍력단지를 형성하여 운전 중에 있다. 수백 kW 또는 수MW 규모에 해당하는 제각기의 시스템이 발생하는 전력에너지를 집약하여 그 지역의 전력회사에 판매하는 방식으로 운전되며 그림 5에 그 기본적인 계통도를 보이고 있다. 풍력발전 단지의 조성은 많은 시스템이 밀집되어 있으므로 집약적인 운전 및 유지 보수가 가능하다는 장점 이외에도, 전원 공급의 신속성과 짧은 시간 내에 요구되는 전원 용량에 대응하여 용량의 증감이 수월하다는 특징을 갖고 있으며, 오늘날의 상업용 풍력발전단지 내의 풍력 발전시스템의 용량규모는 통상 17~350kW 정도이나 점차 대형화(100~600kW)되

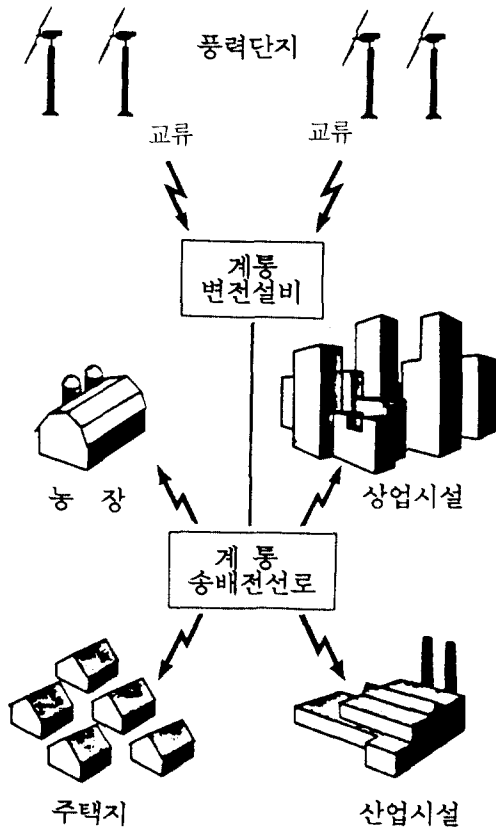


그림 5 풍력발전 단지 계통도

는 추세를 나타내고 있다.

3. 국내 풍력에너지 이용 현황 및 기술 개발

우리 나라에서도 대체에너지원의 개발에 1970년대부터 관심을 갖고 노력을 경주해 왔으나 주변여건과 체계적이지 못한 연구사업의 추진 등으로 말미암아 아직 실용화와 같은 연구성과를 거두지는 못하고 있는 실정이다. 그러나 1987년 12월에 대체에너지 개발촉진법의 제정을 통해 꾸준히 개발에 대한 노력을 기울이고 있다. 따라서, 앞서 언급한 바와 같이 풍력기술의 선진국들에 대한 기술수준과 기술촉적 및 습득의 과정을 엄밀히 분석하고, 과거

국내에서 진행되었던 풍력시스템 개발에 관한 연구개발 노력에 대한 역사 및 현 상황에서의 국내 기술수준의 점검을 통해 보다 더 현실성 있는 국산화 개발에 한 걸음 나아갈 수 있을 것이다.

본 장에서는 국내의 대표적인 청정에너지원인 풍력에너지의 국내부존량을 산정하여 얼마나 많은 에너지가 존재하는지에 대해서 가시적인 수치를 제시하고 지금까지 국내에서 진행되었던 개발 노력과 현재의 상태 및 현황에 관해서 언급하였다. 또한 국내 관련산업계의 기술수준 및 개발 경험에 관하여 언급하여 국내에서의 개발노력에 현실성을 가하고자 한다.

3.1 국내 풍력자원 산정^(6,7,12)

바람으로부터 얻을 수 있는 에너지는 바람의 운동에너지로서 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$Pw = \rho V^3 A / 2 \tag{1}$$

그러나 바람은 순간적으로 속도가 변하므로 바람으로부터 얻을 수 있는 에너지는 쉽게 구할 수 없다. 따라서, 특정 풍속의 확률밀도를 나타내는 Weibull 분포를 이용하여 바람으로부터 얻을 수 있는 단위시간당의 평균에너지양(Pwa)을 구하면 식 (2)와 같다.

$$Pwa = \rho A / 2 \int_0^{\infty} V^3 P(V) dV \tag{2}$$

식 (2)를 정리하면 식 (3)과 같다.

$$Pwa = \rho AC^2 / 2 \Gamma(1+3/K) \tag{3}$$

여기서 Γ 는 Gamma 함수를 나타낸다.

따라서, 해당지역의 척도계수 C와 형상계수 K값만 안다면 Pwa는 쉽게 구할 수 있으며, 또한 이 때 구한 Pwa는 해당지역에서의 풍력 밀도를 나타낸다.

바람이 통과하는 면적 A를 1m², 즉 단위면적으로 가정하여 연간 획득할 수 있는 풍력가용량 Pa를 구하면 식 (4)와 같다.

$$Pa = 8,760 C^3 \rho / 2 \Gamma(1+3/K) \tag{4}$$

그림 6은 국내의 면적을 206개 방안으로 나누어 지상 10m에서의 단위시간당 평균 에너지 양 Pwa의 분포, 즉 풍력 밀도를 나타낸 것으로 그림에서 검은 점은 관측소의 위치를 나타내며, 1방안의 크기는 가로 23km, 세로 28km이다.

국내의 풍력 가용량은 풍력 밀도 분포도를 이용하여 산정할 수 있으며 표 1에 이를 나타내고 있다.

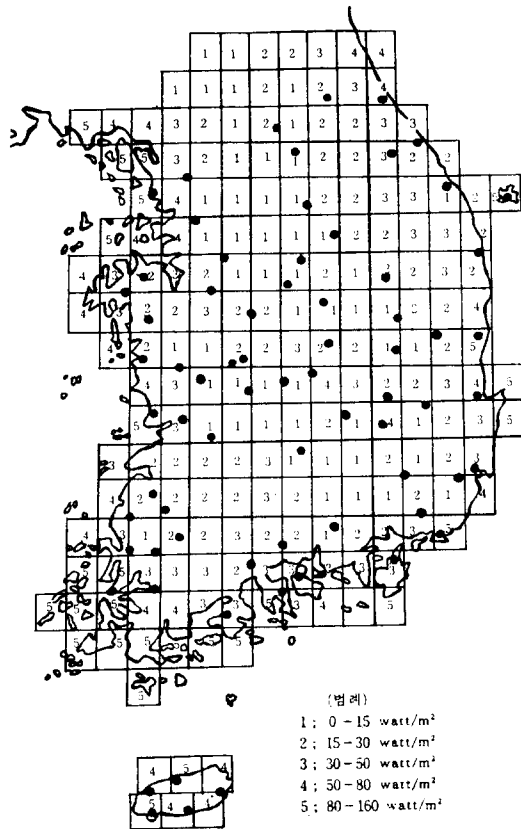


그림 6 국내의 풍력 밀도 분포도

표 1 국내의 풍력 가용량 산정.

구분	풍력 가용량(kWh/년)		풍차 회전면적(m ²)
	지상10m높이	지상50m높이	
1.27	3.48 × 10 ⁹	8.32 × 10 ⁹	1.00
5.00	6.83 × 10 ¹⁰	1.63 × 10 ¹¹	19.6
10.0	2.73 × 10 ¹¹	6.52 × 10 ¹¹	78.5

3.2 국내 풍력에너지 이용 현황 및 기술^(4,5,9)

1973년 유류파동 이후 대체에너지에 관심을 보이기 시작하면서 우리 나라의 풍력발전의 효시라고 할 수 있는 최초의 풍력발전기가 과학기술처의 지원을 받아 한국과학원 연구팀에 의해 1975년 1월에 경기도 화성군 송산면 어도리(엇섬)에 세워진 이후, 한국 과학기술연구원과 한국동력자원연구소 등 연구기관을 주축으로 풍력발전에 관한 연구가 진행되었으며, 이외에도 대한항공기술연구소에서 1975년도부터 제주도의 지동목장에 외국산의 풍력발전기를 설치 운영하였고 1970년대 말에는 해운항만청에서 소형 풍력발전기를 자체 개발하여 등대용 전원으로 보급하였다가 철수한 적도 있다.

표 2는 현재까지 국내에서 풍력 발전기 개발 및 이용현황을 나타냈다.

최근에는 민간 기업체가 단위전원 공급을 목적으로 전북 옥구군 신시도에 20kW급 시스템과 태양광발전 시스템과의 복합발전시스템을

도입 설치한 경우도 있으며, 특기할 것은 국내에서도 본격적으로 중형급이라 할 수 있는 250kW급의 풍력발전시스템을 한국에너지기술연구소에서 제주도 중문관광단지 내에 설치 및 운영에 관한 연구를 진행중에 있어 국내에서도 비록 외국산이기는 하지만 본격적으로 중형급 풍력발전시스템의 활용시대가 열렸다는 사실이다.

4. 국내 풍력발전시스템 개발 계획

풍력발전시스템의 개발 기술이 충분히 확립되지 못한 우리 나라의 입장에서는 대체에너지 개발촉진법에 의한 기술개발사업으로서 기업화를 통한 실용화 촉진 및 기술 파급효과를 기할 수 있는 기술분야로 막대한 투자비가 소요되며 항공공학, 기계공학, 전기공학, 전자공학, 제어공학, 유압공학, 금속공학, 재료공학, 토목공학, 대기과학 등의 종합기술분야인 풍력발전 연구를 효율적으로 진행하기 위하여 산·학·

표 2 국내의 풍력 에너지 이용현황

연구 내용	수행 기관	연구 기간	용량 및 대수	설치 장소
· 풍력 이용 종합 연구	KAIST	1974	2kW×1	엇 섬
· 제주도 중산간 지대의 전화 및 지하수양수용 풍력발전기 개발 연구	KIST	1975	2kW×4	제주도
· 풍력 발전 개발 연구	KAIST	1976	3.5kW×1	엇 섬
· 풍력발전 계통에 관한 개선 및 설계연구	KIST	1977	2kW×3	제주도
· 10kW급태양-풍력 복합발전시스템 개발 연구	KIST	1978	10kW×1	개야도
· 5kW 풍력 발전기 설치 연구	KIST (KIER)	1979	5kW×1	죽 도
· 풍력에너지 이용 기술개발	KIER	1982	2kW×1	대 전
· 풍력발전기술개발(I)	KIER	1983	10kW×1	—
· 한·독 태양-풍력 복합발전에 관한 연구	KIST	1984	11kW×1 14kW×1	제주도
· 신시도 전화사업	한국풍력	1990	20kW×1	신시도
· 중문관광단지내 중형 풍력발전시스템 설치 및 운영 연구	한국에너지 기술연구소	1992 (예정)	250kW×1	제주도

연 공동추진이 요구되며 개발에 뒤따르는 시행착오를 최소화시키면서 풍력발전시스템의 국산화 개발을 이루기 위해서는 풍력발전 연구사업에 대한 종합적인 추진계획이 수립되어야 한다.

따라서, 연구개발목표를 효율적으로 달성하기 위하여 풍력발전 연구사업의 추진체계 확립, 연구기관과 산업체의 적극참여 유도 및 개발성과의 보급 및 실용화 촉진을 추진하여 기본전략화합이 요망되며 1990년도에 한국동력자원연구소에서 대체에너지 기술개발사업의 일환으로 수행한 '소·중출력 풍력발전을 위한 기술분석연구'^(4,11)에서 그림 7과 같은 추진체계와 국내에서의 풍력발전 기술개발에 필요한 연구분야를 다음과 같이 제시하였다.

1) 풍력에너지 활용연구

- 풍력자원 조사 및 분석
 - 풍차의 micrositing 기술
 - 지역별 풍력자원 특성 연구
 - 풍차와 대기 유동과의 관계 해석
 - 환경에 미치는 풍차의 영향 연구
 - 풍황 simulation 기술 연구
 - 풍력발전 기술개발촉진을 위한 방안 연구
- 2) 소형 풍력발전 연구
- 20KW급 풍력발전시스템 개발
 - 시스템 개량 연구
 - 보급형 시스템 개발
- 3) 중형 풍력발전 연구
- 특성 연구
 - 중속장치
 - 종합설계기술
 - 지지대
 - 풍차날개
 - 시스템 종합개발
 - 발전기
 - 시스템 개량연구

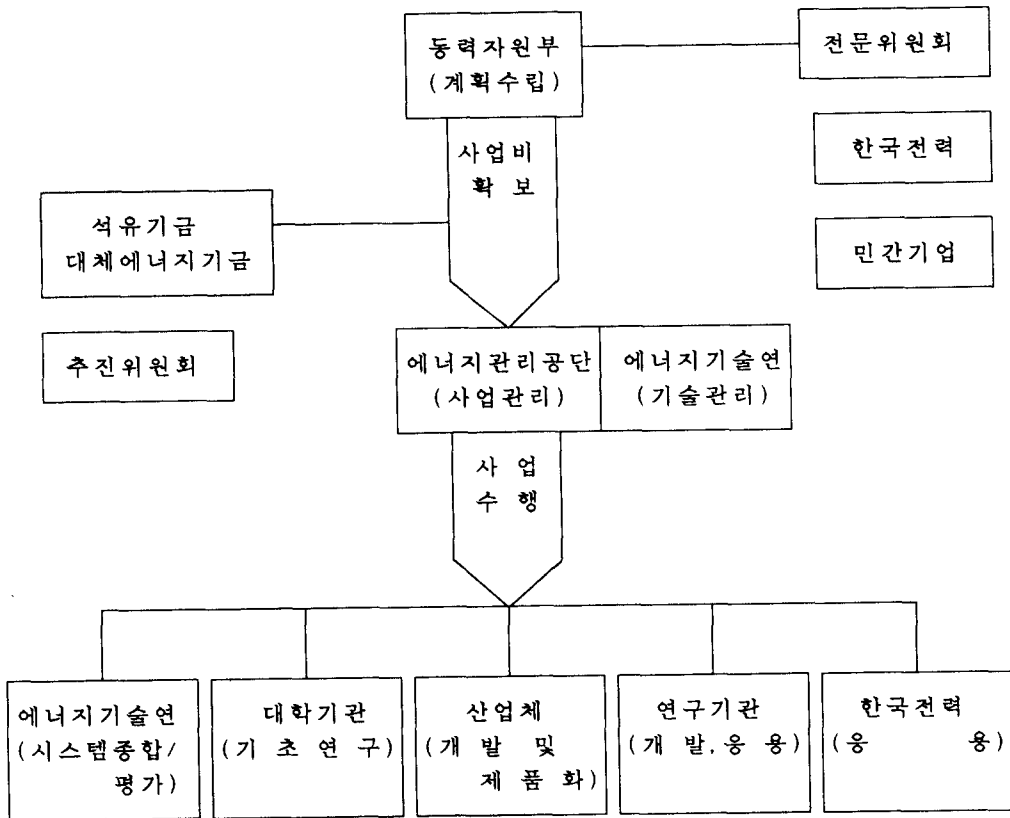


그림 7 추진체계

· 제어기술

4) 운영 및 평가기술

- 풍력발전 실험단지 운영연구
- 계통선연계용 풍차의 운영기술
- 독립진원용 풍차의 운영연구

이중 풍력에너지 활용연구분야의 풍력자원 조사 및 분석 연구사업은 한국동력자원연구소에서 1989년도부터 수행하여 오고 있으며 소형 풍력발전 연구분야의 20KW급 풍력 발전시스템 개발은 한국과학기술원에서 진행중에 있다. 한편 한국에너지기술연구소에서는 제주도 월령지역에 있는 풍력발전 실험단지를 풍력발전 실증실험 및 관련기술을 개발하기 위한 장소로 활용코자 추진중에 있다.

5. 맺 음 말

북미 및 유럽 일본을 중심으로 풍력발전 관련기술의 발달로 수백kW급 시스템을 주축으로 하여 풍력발전시스템의 신뢰성 및 경제성이 확보되어 사용화 단계에 있으며, 풍력발전시스템의 건설단가는 최근 1,000달러/kW수준으로 낮아졌으며 발전단가는 5~11센트/kWh에 이르러 사회적 비용(social costs)을 고려하면 타 에너지원에 비해 경쟁력을 확보한 상태이다.

우리 나라 전역에 대한 거시적인 풍력자원조사와 20kW급의 소형 풍력발전시스템의 개발연구가 현재 진행중이나 풍력발전에 대한 산업체의 경험과 실용화를 위한 기반요소 기술은 아직 미약한 상태이므로 좀더 집약적인 투자와 연구개발노력으로 기존시스템에 대한 운영경험과 기술분석을 피하여 중형급 풍력발전시스템의 국산화 개발에 힘을 기울여야 하다.

개발과정에서 필연적으로 수반될 수 있는 시행착오 요인을 최소화하고 단시간 내에 신뢰성 있는 시스템을 개발하기 위해서는 기존의 실용화 시스템을 최대한 이용토록 하며 산·학·연

의 협동 연구개발체제의 구성을 통해 집중적인 개발노력이 가해져야 하며, 산·학·연의 협동체제가 현실성 있는 대안이 될 수 있도록 정부차원의 지원책이 선행되어야 한다.

참 고 문 헌

- (1) Wind Power Monthly News Magazine, 1990, Vol. 6, No. 1~Vol. 6, No. 12., Denmark.
- (2) Wind Power Monthly News Magazine, 1991, Vol.7, No. 1~Vol. 7, No. 4., Denmark.
- (3) Wind Energy in the 80s-a Decade of Development, 1990, American Wind Energy Association.
- (4) 정현생, 1990, 소·중 출력 풍력발전을 위한 기술분석 연구, 한국전력공사 기술연구원.
- (5) 이춘식, 1989, 한·독 태양-풍력 복합발전에 관한 연구, 과학기술저.
- (6) 박경호, 1989, 풍력자원 조사 및 분석(I), 한국동력자원연구소.
- (7) 박경호, 1990, 풍력자원 조사 및 분석(II), 한국동력자원연구소.
- (8) 정현생, 1989, "대체에너지의 종류와 실용화", 석유와 윤활 특집호, 제6권, 제3호, pp. 12~18.
- (9) 김충환, 1989, "국내의 대체에너지 개발동향", 석유와 윤활 특집호, 제6권, 제3호, pp. 19~31.
- (10) 김진오, 1989, "외국의 대체에너지 개발동향", 석유와 윤활 특집호, 제6권, 제3호, pp. 32~38.
- (11) 김건훈, 1991, "풍력에너지 개발현황 및 전망", 대한기계학회 에너지 및 동력공학부문 초록집, pp. 21~36.
- (12) 태양에너지핸드북, 1991, 한국태양에너지학회, 서울, pp. 765~828. 