

기술동향

# 풍력발전 기술 동향

강 원 구

한국전력공사 울산지점 배전부장

## 1. 대체 에너지 기술개발 현황

### 가. 대체에너지 기술개발 정책

정부는 에너지 취약성의 극복과 에너지 자원의 다양화를 도모하여 장기적인 에너지 수급 안정을 기하며 환경오염의 개선을 목적으로 1987년 12월 대체에너지 개발촉진법을 제정하고 1988년 6월 중장기 대체에너지 기술개발 기본계획을 발표하였다.

이 기본 계획은 계획의 최종연도를 2001년도로 하고 대체 에너지 공급량을 우리나라 총 에너지 수요의 3%로 설정하고 있으며 기술자립 달성을 개발목표로 하고 있다(표 1 참조).

대체에너지 기술개발은 '88년 6월 기본계획 수립후부터

정부의 개발사업비 지원아래 실시되었으며 '89년 9월부터는 11개 분야 중 개발후 파급효과가 크고 단기간내 실용화 가능성이 높은 연료전지발전 및 태양광발전 분야를 범국가적 연구사업으로 선정하여 중점 지원한 바 있다.

'93년부터는 태양광발전, 연료전지에 석탄가스화 복합발전을 포함시켜 선도기술로 다시 지정하여 연구개발을 수행하고 있다.

이 계획의 결과로 태양광발전의 경우 제품의 국산화와 시스템의 실용화 단계에 이르렀으며 연료전지는 인산형 연료전지의 요소기술이 자체개발되었고 운전기술 확립을 위한 실험이 추진중이며, 풍력발전은 요소기술과 시스템운전기술의 개발을 병행하고 있다.

또한 이러한 결과를 활용하여 자체개발된 국산품으로 100kW급 태양광 발전 시스템과 100~250kW급의 중규모 풍력발전시스템을 시범 운영하고 있다.

〈표 1〉 대체에너지 기술개발 기본목표

구 분	전단계(실적)	제 1 단계	제 2 단계
계획기간	~'91	'92~'96	'97~2001
개발목표	연구기반 구축	실용화 기반 구축	기술자립 달성
보급목표	금융지원	수요개발, 시범보급	시장형성과 관리
총에너지 대체비율	0.5%	1.0%	3.0%
총연구비 (정부지원)	412억원 (288억원)	1,467억 (770억)	3,033억 (1,570억)

### 나. 기술개발비 지원

정부의 기술개발을 위한 사업비는 이의 업무를 주관하고 있는 통상산업부의 일반재정 및 석유사업기금 그리고 과거 처 출연 및 한전 연구자금 등으로 조성되고 있으며 '88년부터 '94년까지의 본사업에 투자된 재원별 현황은 다음 표 2 와 같다.

〈표 2〉 대체 에너지기술개발 사업비의  
재원별 투자현황('88 ~ '94)

재원별	금액(백만원)	구성비(%)
○정부지원		
— 재정	6,953	20
— 석유사업기금	19,143	55
— 과기처 출연	1,760	5
— 한전연구자금	5,303	15
— 가스공사자금	951	3
— 기 타	666	2
소 계	34,776	100
○민간부담금	35,095	
총 계	69,871	

참고로 대체에너지 기술개발의 대상분야중 정부에서 지원된 태양광발전, 연료전지, 풍력발전 등 3개부문에 대한 기술개발 사업비는 다음 표 3과 같다.

〈표 3〉 대체에너지 기술개발비 지원 현황(3개 부문)  
(단위 : 백만원)

구분	88~91	92	93	'94	합계
태양광발전	11,911 (5,880)	635 (401)	1,306 (754)	1,284 (581)	15,136 (7,616)
연료전지	4,104 (849)	2,734 (1,583)	3,563 (2,071)	3,221 (1,818)	13,622 (6,321)
풍력	283 (-)	776 (593)	785 (849)	1,766 (1,220)	3,536 (2,325)

\* ( ) 내는 민간부담금임.

**다. 기술수준 비교(표 4 참조)**

'94년까지 정부의 대체에너지개발에 참여한 국내 연구원은 연간 약 4,000명으로 대체 에너지 분야의 기술인력 양성에 크게 이바지하였다. 아울러 동 연구에 참여한 기관 및 업체수는 92개로서 대체에너지개발 이용에 관한 관심이 매우 높았음을 알 수 있을 뿐 아니라 기술개발에 참여함으로써 국내 기술수준 제고에 크게 기여하였다.

또한 각 연구수행기관의 연구효율성을 높이기 위해 각 분야별로 필수적인고가연구장비를 정부에서구입 연구의 질을 향상시키는데 큰 도움을 준 것이라 판단된다.

이러한 결과로 '88년 이전의 기술수준에 비해 '94년도에는 실용화 기술이 다수 개발되고 일부는 상용화됨으로써 기

〈표 4〉 국내·외 대체에너지 기술수준 비교

기술수준	국 내	국 외
○경제성 확보 단계 (상업화 단계)		<ul style="list-style-type: none"> <li>가정용 태양열 온수, 급탕 시스템</li> <li>특수목적용 태양광 발전 시스템</li> <li>폐기물 소각기술(스토커)</li> <li>중형 풍력발전 시스템</li> </ul>
○상용화 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양열 온수기</li> <li>폐기물 건류기술 (가스화)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양열 냉·난방 기술</li> <li>바이오 알코올 생산기술</li> <li>독립형 태양광 발전기술</li> <li>연료전지 발전 시스템(인산형)</li> <li>석탄슬러리, 가스화 액화</li> <li>석탄가스화 복합발전</li> <li>바이오 매스 혐기성 분해기술</li> <li>소형 풍력발전 시스템</li> <li>도시 하·폐수 열분해 기술</li> </ul>
○실용화 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>독립형 태양광발전 시스템</li> <li>폐기물 소각 기술</li> <li>바이오 알코올 생산 기술</li> <li>도시 폐수 열분해 기술</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양열 발전기술</li> <li>폐기물 소각기술 (유동층, Liquid Injection)</li> <li>대형 풍력발전 시스템</li> <li>소수의 수송용 연료이용 기술</li> <li>연료전지 발전기술(용융탄산염형)</li> </ul>
○응용 연구 단계	<ul style="list-style-type: none"> <li>연료전지 발전 시스템 (인산형)</li> <li>석탄슬러리, 가스화액화</li> <li>중형 풍력발전 시스템</li> <li>LFG 회수 기술</li> <li>석탄 가스화기</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>태양로 기술</li> <li>연료전지 발전기술(고체전해질)</li> <li>수소제조기술(열화학분해, 고온열분해, 광학적분해)</li> <li>파력·조력발전</li> </ul>

술수준이 대폭 향상되었을 뿐만 아니라 그만큼 선진국과의 기술격차도 감소된 것으로 평가되고 있다.

즉 1단계 기술개발 기간인 '88~'91년까지는 대학 및 연구소를 중심으로 한 기초, 응용연구가 활발히 진행되어 2단계 개발목표인 실용화기반 구축에 크게 기여하였으며 기업의 참여가 늘어난 2단계인 '92년부터는 가시적인 성과가 점차적으로 나타나기 시작함으로써 기대 이상의 개발성과가 있었다.

**2. 선진국의 풍력발전 기술개발 정책**

**가. 미 국**

풍력발전 시스템이 본격적으로 상용화 보급되기 시작한 것은 1980년대 중반부터이며 특히 미국과 덴마크를 중심으로 풍력발전 시스템이 실용화되어 많은 나라에 널리 보급되었다.

**기술동향**

미국은 전세계에서 풍력발전 시스템이 가장 많이 보급된 나라로서 특히 캘리포니아주는 풍력발전에 대한 세계 혜택 등으로 인하여 미국내 풍력발전 시스템의 90% 이상이 밀집되어 있는 등 미국내에서 풍력발전 시스템의 보급과 풍력 발전에 의한 전력생산이 가장 활발하게 진행되고 있는 지역이다.

캘리포니아에는 풍력단지가 5개 지역에 분포되어 있으며 이 중 샌프란시스코의 동쪽에 위치한 Altmount Pass, 로스앤젤레스의 북쪽에 위치한 Tehachapi Pass, 로스앤젤레스의 동쪽에 위치한 San Gorgonio Pass 지역에 가장 많은 풍력발전 시스템이 보급되어 있으며 이외에 San Joaquin 과 Sacramento 강 근처의 Solano 지방과 샌프란시스코의 남동쪽에 위치한 Pacheco Pass에도 풍력발전 단지가 조성되어 있다.

이와 같이 캘리포니아주에서 풍력발전 단지조성이 활발하게 이루어진 요인으로는

- 샌프란시스코나 로스앤젤레스와 같은 대도시 근교에 풍력 발전에 풍부한 광활한 대지가 위치하고 있으며
- 연방정부에서 풍력발전 투자에 대하여 세금의 10%를 감면해 주고 여기에 15%의 면세 혜택을 주었으며 주정부에서는 연방정부의 면세에 추가해서 25%의 세금공제를 하여 총 50%의 면세혜택이 주어지는 등 세계 우대조치를 하였음(이러한 풍력발전에 대한 세계 우대제도는 풍력발전이 실용화 단계에 이르렀다고 판단된 1985년 이후 폐지되었음).
- 풍력발전 시스템의 보급에 투자하는 투자자가 많았고 전력회사가 풍력으로 발전된 전력을 의무적으로 매입토록 하는 등의 제도적 요인을 들 수 있다.

풍력발전 시스템의 보급은 풍력발전에 대한 세제혜택이 종료되었던 1985년도까지 급속한 증가를 보였으며 1986년도부터 1988년도까지 현격한 감소추세를 나타내었지만 계속적인 기술개발과 성능 개선을 통하여 풍력발전의 경제성이 향상되면서 그 보급이 다시 증가하고 있다.

현재 미국에서 풍력발전에 의하여 공급되는 전력량은 미국 전체 발전량의 0.1%에 불과하지만 에너지성에서는 2000년도까지 풍력발전에 의해 생산되는 전력량이 현재 캘리포니아 주에서 생산되는 전력의 10배가 넘을 것으로 추정하고 있다.

이는 미국의 총발전량의 5~19%에 상당하는 전력량이고 2010년까지는 총 23,000MW의 풍력발전 시스템이 보급될 것으로 전망되며 미국의 World Watch 연구소에서는 앞으로 40년후에 많은 나라에서 풍력에너지로 10~20%를 충당할 수 있을 것으로 예상하고 있다.

1990년대에 들어와서 미국내에서의 풍력에너지 상업화는 새로운 기술의 개발과 제도적 뒷받침으로 인해 가속화되었다. 1992년에만 해도 주로 미국 북서부, 동부와 중서부지역을 중심으로 12개 이상의 전력회사들이 풍력분야에 참여할 계획을 발표하였다.

- FloWind Corp.는 25MW규모의 풍력단지를 워싱턴주 내에 개발할 예정인데, DOE의 지원으로 R. Lynette & Associates에 의해 개발될 첨단 풍력발전기를 설치하게 될 예정이다.

- 미국 최대의 풍력회사인 U.S. Windpower사도 와이오밍주에 개발중인 50mw규모의 풍력단지에 33M-S라는 모델의 첨단 풍력발전기를 설치할 예정으로 있다.

- 미네소타주의 전력회사 Northern States Power Company는 1997년까지 100MW규모의 풍력단지의 건설계획을 발표하는 등 많은 투자계획을 추진하고 있다.

이러한 전력회사들은 이미 풍력발전이 풍부한 곳에서는 상당한 경쟁력을 지니고 있음을 인식한 상태이며 추후 기술개발로 발전단계는 더욱 하향될 것으로 기대하고 있고 부가적으로 환경보전효과 때문에 많은 투자를 아끼지 않고 있다.

이 밖에도 1990년 개정된 Clean Air Act에 의해 화석연료를 사용하는 기술은 부과금으로 인해 점점 매력을 잃어갈 것이며, 1994년에서 1999년까지 건설되는 풍력발전기로부터 생산되는 전력은 1kWh당 1.5센트의 세제혜택을 명기한 1992년의 Energy Policy Act에 의해 풍력발전기술은 점점 넓은 지역으로 확산될 전망이다.

그밖의 지원책으로는 PURPA(Public Utility Regulatory Policies Act)에 의해 명시된 일정기술수준만 만족되면 풍력발전기의 계통연계가 자유롭게 허용되고 있다는 것이다.

그리고 풍력설비에 연간 3억달러, 연구개발에 연간 1.5억달러를 투자하여 계속 발전하고 있는 유럽 풍력회사와의 경쟁을 위해

- 풍력발전 기술수준 증진 및 새로운 첨단 풍력발전기 개발

-캘리포니아 이외 지역으로의 설비확산

-미국 풍력회사의 경쟁력 증진

등의 3가지 목적으로 DOE의 Wind Energy Program이 진행되고 있으며, 1991년 1100만달러에 불과하던 풍력 예산을 1992년도에는 93%증액하여 2100만달러를 투자하였다.

미국은 워싱턴에 있는 DOE중앙본부의 Wind Energy Program에 따라 NREL, SNL, PNL 등이 연구개발 과제를 수행하고 있는 형태를 취하고 있다.

1992년에만 해도 약 500만달러를 새로운 국립풍력기술 센터의 설립을 위해 NREL에 지원하여 NREL로 하여금 첨단 풍력발전기 개발, 전력회사 및 산업체 지원, 공기역학적, 구조적 및 피로공학적 연구와 컴퓨터 모델링을 위해 중추적인 기능을 수행할 수 있도록 하였다.

NSL은 풍력시스템의 피로 및 신뢰성 분야, 첨단 재료, 구조 가동분석, 첨단 제어, 컴퓨터 모델링 및 회전자 주위의 유동해석분야에서 연구를 진행중이며, PNL은 대기과학, 풍력자원 예측분야에서 연구를 수행하고 있다.

1990년대 미국회사들은 유럽회사들의 발전으로 경쟁력의 도전을 받게 되자 DOE는 미국 풍력산업계를 위하여 첨단 풍력터빈을 개발하는 프로그램(AWT Program)을 추진함으로써 1993년도와 1995년도 사이에 상업적으로 이의 활용이 가능하리라 예측하고 있다.

이 풍력발전기는 연평균 약 6.9미터/초의 풍속조건하에서도 kWh당 5센트 정도의 낮은 발전간가를 나타내 경쟁력을 충분히 나타내고 있다.

1단계로 개념설계가 끝난 AWT Program은 1992년부터 2단계로 접어들어 Near-Term Product Development Project가 시작되었고, 1990년대 중반까지 첨단 풍력 터빈에 대한 개발, 시험을 마치도록 되어 있다.

이렇게 개발된 터빈은 약 50% 이상의 에너지 생산 증가율을 기록할 예정이며, 회전자 끝에 브레이크가 설치된 형태로 과회전을 방지하고 있다. 그리고 NREL은 AWT Program의 3단계로서 차세대대를 위한 풍력발전기를 개발할 계획을 만들고 있으며 이 풍력발전기가 개발되는 2000년도에는 연평균 6.9미터/초의 풍속조건에서 발전간가가 kWh당 4센트 정도가 될 것으로 예측되고 있다.

DOE와 EPRI는 미국 전력회사가 최신기술로 개발된 풍력

발전단지에 대한 경험을 얻을 수 있는 기회를 제공하기 위하여 Utility Windturbine Performance Verification Program을 만들었다.

이 프로그램에 의해 전력회사들은 발전단가, 단지 조성상의 문제점들, 풍력발전기 신뢰도 및 풍력발전기의 환경에 미치는 영향 등에 관한 경험을 얻을 수 있게 되었다.

최근 EPRI와 DOE는 4곳에서 행해지는 전력회사 차원의 풍력단지 개발사업을 지원키로 하였으며, 총사업비 1000만달러에서 약 300만달러까지를 지원키로 하였으며, 주관 전력회사는 단지설계, 건설 및 시운전 등을 책임지게 된다.

미국내에서 EPRI와 DOE에 의해 지원을 받으며 풍력발전에 관심을 갖는 전력회사들의 모임인 UWIG(The Utility Wind Interest Group)는 향후의 발전분야에 대한 투자분석을 하여 풍력분야에 더 많은 발전을 기획하고 있다.

1992년도부터는 또 다른 지원 프로그램인 VET(Value Engineered Turbine)Program이 DOE에 의해 시작되었는데, 이는 현재의 풍력발전기에 대한 발전단가, 신뢰성 및 제작기술 수준을 증진시키기 위한 목적을 갖고 있다.

## 나. 일본

일본의 공업기술원은 1974년에 계획된 Sunshine Project, 1978년에 계획된 Moonlight Project와 지구환경기술개발을 일체화한 New Sunshine Program(에너지 환경 영역 종합기술 개발추진 계획)을 1993년에 수립하였으며, 지속적 성장과 에너지, 환경문제의 동시 해결을 목표로 혁신적인 에너지 환경기술개발에 착수하였다.

일본은 풍력에너지 자원량은 풍부하나 불규칙성과 저밀도성 때문에 유효하게 이용하지 못한 풍력에너지를 유효하게 이용할 목적으로 풍력발전 시스템의 대형화 및 집합화를 위한 기술개발을 추진하고 있다.

주요연구 내용은

- 경량화와 피로강도 향상을 위한 재료개발
- 안전과 안정 출력을 위한 제어기술 및 제어시스템 개발
- 대형화를 위한 신기술 등이며
- 특히 보급화 개발을 위한 기술적 과제로서

**기술동향**

- 배치, 운전제어 등 입지조건과 시스템의 종합적 최적화
- 소음저감, 생태계 영향, 경관 등 환경영향 문제
- 계통연계 기술의 확립, 낙도 전원용으로서의 타 발전시스템과 연계 또는 복합기술 등에 중점을 두고 있다.

**다. 유럽**

유럽연합은 1차 석유파동 이후인 1973년부터 회원국 자체의 계획과는 별도로 에너지 관련기술의 연구개발 및 보급확산을 위한 계획을 수립하여 추진하고 있다.

대표적인 프로그램은 순수 에너지 기술의 자체 연구개발을 목적으로 미래 지향적 또는 초기단계에 비해 에너지 분야의 기술개발을 수행하는 JOULE(Joint Opportunities for Unconventional or Long-Term Energies)프로그램 중 풍력부문에서는 대형 풍력발전기 개발을 위한 측정 및 모델링, 터빈 실험 및 이용, 부품개발 및 모델링, 독립형 및 해안 이용 모델개발을 계획하고 있다.

THERMIE 프로그램은 상업화 단계에 근접한 에너지기술의 시범, 실증 및 보급확산을 목표로 추진되었는 바 풍력에서는 중형급(100kW~1MW) 계통연계형 시스템 풍력단지 및 디젤 복합발전 시스템 등을 내용으로 하고 있다.

또한 1994년 3월 유럽연합 집행위원회와 유럽 의회의 조정을 거쳐 확정된 제4차('94-'98)연구개발 및 시범사업 기본계획은 기초연구에서 응용에 이르기까지 전 연구분야를 망라하고 있으며, 종래에 추진된 JOULE 프로그램과 THERMIE 프로그램도 포함되었고 풍력발전부문에서는

- 첨단소재 사용 회전자 및 부품개발
- 현재 프로그램의 지속 추진
- 초경량 혁신 회전자를 가진 1~2MW급 터빈 개발 착수
- 연근해, 육지의 저 풍속 지대를 대상으로 한 풍력단지 프로그램 개발이고
- 시범사업 부문의 주요내용으로는
- 성능,효율, 신뢰성 향상 및 가격 절감
- 해안 풍력단지 건설 및 중규모 풍력터빈의 대규모 활용을 통한 에너지 생산량 확대
- 저풍속지대용 기기의 설계, 대형발전기(1MW 이상)의 새로운 활용도이다.

이러한 연구개발과 시범사업의 기대효과로서 1991년 현재 유럽내의 풍력발전의 시설용량 640MW가 2005년에는 4,000~5,000MW까지 증가할 것으로 낙관하고 있다.

**3. 풍력발전 기술개발 현황**

**가. 풍력발전 기술의 정의와 특성**

**(1) 풍력발전 기술의 정의**

풍력발전이란 공기의 유동이 갖는 운동에너지를 회전자의 공기역학적 특성을 이용하여 회전을 회전시켜 기계적 에너지로 변환시키고, 이 에너지를 다시 유용한 일을 할 수 있도록 변환시키는, 발전기를 회전시켜 발전하는 방식의 신발전기술이라고 정의할 수 있다.

이 외에도 관개나 열 변환 등의 분야에도 일부 이용되고 있으나 주로 발전분야에 절대적으로 많이 이용되고 있다. 바람을 이용하는 풍력시스템의 기술상 분류는 크게 시스템의 구조와 사용 용도에 따라 분류할 수 있다. 다음 표5는 출력시스템의 분류를 나타낸다.

〈표5〉 풍력시스템의 분류

<ul style="list-style-type: none"> <li>○구조에 따른 분류 (회전축의 방향분류)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 수평축 풍력시스템(HAWT)</li> <li>· 수직축 풍력시스템(VAWT)</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>○용도에 따른 분류</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 계통연계형 풍력발전시스템 (Asynchronous Generator)</li> <li>· 독립전원용 풍력발전시스템 (Aynchronous Generator)</li> <li>· 덤핑, 양수, 관개</li> </ul>

풍력발전기술 분류상의 가장 큰 특징이라면 낙도나 오지 지역과 같은 미전화 지역에서 경제성있는 전력을 생산할 수 있는 독립전원용 풍력발전기와 풍력발전단지와 같이 중대형 풍력발전기를 대규모로 설치하여 대단위 규모로 발전이 가능한 계통연계용 풍력발전기로 나누어지고, 이에 따른 기술 수준 및 시스템 구성상 차이점이 매우 크다.

또한 풍력발전기의 주요 구성요소로는 구조나 용도에 따라 다소의 차이는 있지만 주로 날개(Blade)와 허브(Hub)로 구성된 회전자와 회전자의 회전을 증속하여 발전기를 구동시키는 증속장치(Gear Box),발전기 및 각종 안전장치를

제어하는 제어장치, 유압브레이크 장치와 전력 제어장치 및 철탍 등으로 구성되어 있다.

## (2) 풍력발전 기술의 특성

기존 화석에너지원은 분포가 세계적으로 매우 편중되어 있고 자원량 자체도 한정되어 있다. 또한 그것을 이용하는 과정에서 필연적으로 환경을 오염시키게 되지만 풍력에너지는 어느 곳이나 산재되어 있는 무공해 청정에너지로서 그 이용에 있어 환경에 미치는 영향이 거의 없고 국토를 효율적으로 이용할 수 있으며 발전단가면에서도 미국과 같이 대규모로 운전하고 있는 경우는 기존의 원자력이나 화력 등과 같은 발전방식과 경쟁이 가능한 수준에 와있는 가장 실용화 되어 있는 신발전 기술이다.

이외에도 풍력발전단지의 부지중에서 실제로 이용되는 면적은 풍력발전기의 기초부,도로, 계측 및 중앙제어실 등으로서 전체 단지면적의 1%에 불과하며 나머지 99%의 면적은 목축,농업 등 기타 용도로 사용할 수 있으므로 좁은 국토를 갖고 있는 우리나라와 같은 실정에서는 국토를 효율적으로 이용하는 한 가지 방법이 될 수 있다.

조사에 따르면 각 에너지원에 의한 발전을 위해 필요한 소요부지의 면적을 보면 풍력은 30년간 1,335m<sup>2</sup>/GWh, 석탄 3,642m<sup>2</sup>/GWh, 태양열 3,561m<sup>2</sup>/GWh 그리고 태양광 발전 3,237m<sup>2</sup>/GWh으로서 풍력발전방식이 가장 적은 면적의 부지를 이용하는 것으로 그 효율성을 잘 나타내고 있다.

이밖에도 일부 유럽 국가에서 시도하고 있는 해안가의 방파제나 혹은 얇은 바다 위에 설치하는 것도 가능하므로 단순 방파제로서의 역할만을 하고 있는 방파제나 얇은 바다를 효율적으로 이용할 수 있는 효과도 함께 볼 수 있다.

풍력발전에 의한 공해물질 저감 효과도 매우 커서, 200kW 풍력발전기 1대가 1년간 운전하여 400,000kWh의 전력을 생산한다면 약 120~200톤의 석탄을 대체하게 되며, 줄어드는 공해물질의 배출량은 연간 SO<sub>2</sub>는 2~3.2톤, NO<sub>x</sub>는 1.2~2.4톤, CO<sub>2</sub>는 300~500톤, 슬래그와 분진은 16~28톤에 달하며 부유물질은 연간 약 160~280kg 정도 배출이 억제되는 효과가 있다.

이런 풍력발전시스템이 대규모로 운전되고 있는 미국 캘리포니아 Altamont Pass내의 KENETECH Windpower

사는 단지내의 약 절반 가량의 시스템(3,540대, 370MW)을 운영하고 있는데 약 2% 정도의 부지만을 이용하고 있으면서 연간 약 461,400톤의 탄산가스와 약 423톤 정도의 NO<sub>x</sub>배출을 저감하고 있다.

풍력발전이 갖는 유망한 장점 중의 하나가 현재의 신재생 에너지원 중 가장 저렴한 발전단가로서 경제성과 경쟁력을 지니고 있다는 점이라 할 수 있다.

풍력발전시스템의 발전단가는 지역의 풍력자원에 결정적으로 영향을 받게 되지만 통상적으로 연평균 풍속이 5m/sec를 넘으면 가능성이 있는 지역이라 할 수 있으며, 현재 대규모 운전되고 있는 미국의 풍력단지들은 약 \$750/kWh의 시스템 설치비에 약 5¢/kWh내외의 발전단가를 나타내 기타 다른 화석에너지원에 대해 충분히 경쟁할 수 있을 정도이다.

이외에도 계속적인 투자와 기술개발이 병행되면 미국 Power Research Institute에서 예측한 바와 같이 10년내지 12년 내에 풍력발전에 의해 모든 에너지원 중 가장 저렴하게 전력을 생산할 수 있을 것이며, 실제로 15년내에 3.9¢/kWh의 발전단가를 목표로 하고 있다.

발전과정에서 필수적으로 발생하는 공해물질을 수거하여 제거하는데 필요한 사회적 비용도 풍력발전분야가 가장 낮아 약 0.1~0.2¢/kWh이며, 태양광 0.3~0.4¢/kWh, 원자력 1~5.7¢/kWh 및 석탄 3~10¢/kWh로서 환경에 가장 영향을 미치지 않는 발전원으로서 기대되고 있다.

고용의 파급효과도 풍력산업계가 미치는 영향이 매우 크다고 분석되고 있다. 따라서, 풍력산업에 투자가 되면 기타 다른 에너지 산업분야는 시설투자비보다는 상대적으로 연료나 운영상 투자비가 높지만 이런 분야에서의 기계화 및 자동화가 급속히 이루어지는 관계로 고용증대 효과가 별로 나타나지 않게 되지만 풍력산업은 연료비는 들지 않으나 상대적으로 고용증대 효과가 큰 제조, 설비 및 운전관리에 투자가 많으므로 높은 고용증대 효과를 나타내고 있다.

Now York State Energy Office의 분석에 의하면 단위 에너지당 풍력산업계가 천연가스에 비해 약 66%, 근대 석탄산업에 비해 약 27% 정도의 고용증대 효과를 나타내고 있음을 알 수 있다.

현재의 기술수준으로 환경에 전혀 영향을 미치지 않으며 전력을 생산하기는 불가능하다. 따라서 풍력발전기술도 환

**기술동향**

경에 미치는 영향 즉, 주변 거주자에 대한 소음공해나 전파 방해로 인한 통신곤란 등과 같은 문제를 야기시키며 조류의 서식과 이동을 방해하는 역기능도 일부는 존재한다.

그리고 한때 이러한 문제로 인해 풍력발전에 대한 인식이 다소 나쁜 영향을 미치기도 하였지만 최근의 풍력발전기는 소음관련기술의 발달로 더 이상 소음문제가 크게 대두되고 있지는 않다.

즉, 300kW의 풍력발전기가 8m/sec의 풍속에서 운전되고 있을 때 약 200m 떨어진 거리에서 45dB 정도의 소음만 느끼게 되는 등 상대적으로 소음공해를 많이 줄인 상태이다. 이 정도의 소음은 일반 가정집에서 느끼는 야간시의 소음보다는 크지만 주간시 소음 크기보다는 작으므로 풍력발전기를 일반 거주지로부터 약 200m 정도 떨어진 곳에 설치하면 아무런 문제가 발생하지 않게 된다.

300kW 풍력발전기가 30여대 운전되는 풍력발전단지의 경우에도 약 500m 정도 떨어지게 되면 주거에 지장을 주지 않을 정도의 미약한 소음만을 느끼게 되기 때문에 별 문제가 되지 않는다. 또 전파방해나 통신장애는 증폭기나 유선을 이용함으로써 간단히 해결할 수 있으므로 큰 제약이 되지 않는다.

**나. 선진기술 현황**

**(1) 보급현황 및 전망**

풍력발전 관련기술은 이미 실용화 단계이기 때문에 요소 기술개발보다는 풍력발전기의 보급확대에 더 많은 비중을 하고 있는 상황이다. 따라서 많은 국가에서 경쟁적으로 풍력발전기를 설치 운영하고 있으며, 2005년까지 CO<sub>2</sub>가스의 20% 배출절감을 협약한 Toronto회의(1988년도)에 따라 선진국에서는 풍력발전기의 보급에 박차를 가하고 있다.

1994년 현재 세계적으로 약 3,700MW용량의 풍력발전기가 설치 운전중에 있으며, 풍력발전에 의한 연간 전력생산량도 약 45억kWh 이상으로서 비약적인 신장세를 기록하고 있다. 1994년 한해 동안에도 약 611kWh 용량의 풍력발전기에 의한 연간 전력생산량도 약 45억kWh 이상으로서 비약적인 신장세를 기록하고 있다.

1994년 한해 동안에도 약 611MW 규모로 보급이 활발히 이루어지고 있다. 인도의 경우에는 1995년도에 235.5

MW 규모의 풍력단지를 새로 건설할 계획을 갖고 있는 등 보급률이 가파르게 증가하고 있다. 현재 가장 많은 풍력발전기가 운전되고 있는 국가는 역시 미국으로서 캘리포니아 주 내 대규모 풍력발전단지를 중심으로 1993년에는 연간 약 30억 kWh의 전력을 생산하였다.

다음 표 6에 1994년 현재 세계 각국의 풍력발전기 설치현황과 1994년에 추가된 용량을 나타내고 있다.

〈표 6〉 각국의 풍력발전기 설치현황

국	가	설치용량(mW)	94년 추가설치용량
미	국	1,717	41
덴	마크	540	52
독	일	643	290
네	덜	153	21
영	국	147	32
스	페	72	8
이	태	22	8
그	리	35	1
스	웨	38	5
포	르	9	-
아	일	8	-
우	크	4	4
인	도	182	100
중	국	30	8
브	라	2	2
멕	시	2	2
기	타	55	27

유럽지역은 1994년도 한해동안 약 500MW의 용량이 증가되어 현재 총용량 약 1,750MW 정도의 풍력발전기가 운전중에 있으며 이 중에서 독일이 534MW로서 가장 많은 풍력발전용량을 보유하고 있는 유럽국가로 나타나고 있다.

향후에도 풍력발전기의 보급은 멈추지 않고 계속 신장될 것으로 예상되고 있으며, 미국 AWEA(American Wind Energy Association)는 2000년도까지 약 10,000MW 정도의 풍력발전기가 보급될 수 있도록 하는 Wind Power 2000이라는 보급확대 정책을 채택하였고 이를 뒷받침하기 위해 전력회사, 주정부, 연방기구 및 환경기구와 풍력산업체의 공동협력관계 구성에 착수하였다.

이에 대해 유럽 국가들도 역시 풍력분야에 대한 보급확대를 꾸준히 추진하고 있으며, 특히 독일, 영국 및 덴마크의 보급확대가 활발히 이루어질 것으로 예상되고 있다.

2000년도까지 유럽국가 중 독일은 1,000MW의 보급이

이루어질 전망이다, 영국은 2,200MW, 독일이 1,500MW, 덴마크가 1,050MW 정도의 풍력발전기를 보급할 것으로 예상되고 있고, 이를 종합해서 유럽 EWEA(European Wind Energy Association)는 다음 표 7과 같이 유럽지역의 풍력발전 보급전망을 내놓고 있는 실정이다.

〈표 7〉 유럽지역의 향후 보급 전망

연 도	2000	2005	2010	2030
설치계획 용량 (MW)	4,000	11,500	25,000	100,000

2000년도의 전세계 풍력관계 시장규모는 약 20억~40억 달러가 되리라 전망되고 있으며, 세계적으로 보급 규모는 9,200~14,000MW 정도에 이를 것으로 전망되고 있다.

(2) 각국의 설치 현황

(가) 미 국

20세기 초반 주로 목장의 관개나 양수를 위해 약 5만여 대의 풍력기기를 이용하였던 미국은 펌핑용 풍력기기의 경쟁력 상실로 풍력산업이 사라졌다가 최근 15년 사이 민간 및 공공부문의 투자와 환경관련 법률 등의 제정으로 중흥기를 맞이하고 있다.

현재 미국은 세계에서 가장 큰 풍력산업 규모를 유지하고 있으며, 1994년도를 기준하여 전체 설치용량 및 발전량은 각각 1,717MW와 35억kW에 이르고 있다.

그중에서 캘리포니아주 내의 4개의 큰 풍력단지에서는 약 16,000대의 시스템이 운전중에 있으며 약 30억 kWh의 전력을 생산하고 있다.

1981년도에 30¢/kWh하던 발전단가가 현재는 대규모 풍력단지 추진에 따라 3.9¢/kWh 정도로 하락하여 타 에너지원과 충분히 견줄만한 정도이다. 이렇듯 미국내 풍력산업의 경이적인 발전은 연방정부 및 주정부의 환경에 대한 법률 제정에 기인한 바가 크며, 몇 가지의 주요 법률들이 풍력시장의 확대를 유발하였다.

1990년 Clean Air Act개정안은 질소산화물에 대한 부과금을 매겨 전력회사들이 풍력분야에 관심을 갖게 하는 동

기를 제공하였다.

1992년도에는 풍력발전 전력에 대하여 kWh당 1.5¢의 세제 혜택을 명기한 National Energy Policy Act법안이 통과되어 더욱더 풍력발전의 생산성을 높이는데 기여하고 있다. 이외에도 연방정부는 DOE가 풍력발전의 상업화를 지원하는 형태로 참여하고 있으며, EPRI(Electric Power Research Institute)는 대규모 풍력발전단지 건설계획에 대한 재정지원 등을 하고 있다. 또한 연방정부, 산업체, 전력회사 등의 연합기구인 NWCC(National Wind Coordinating Committee)를 DOE가 지원하여 자체적으로 시장규모의 확대를 꾀하고 있는 실정이다.

최근에는 전력회사들이 발전에너지원의 다원화와 환경보호 법률 등에 효율적으로 대처할 수 있고 경제성을 지닌 풍력발전에 많은 관심을 보여 현재 대규모로 추진하고 있는 풍력발전단지도 상당수에 이른다.

- Texas Utilities : 40MW wind plant
- Pacific Corp/Portland General Electric : 31.5MW wind plant
- Sacramento Municipal Utility District : 50MW wind plant
- Northern States Power Company : 25MW wind plant(1997년까지 약 400여기의 시스템으로 100MW 규모로 확대 예정)
- Green Mountain Power : 20MW, 10MW, wind plant
- 기타 지역(하와이) : 35MW wind plant 추진중

현재 미국에는 약 40개주 정도가 풍력자원이 매우 풍부한 것으로 조사되어 앞으로 풍력단지의 건설은 캘리포니아주를 벗어나 미국내 각주로 파급 확산될 전망이다.

한편, 앞서 언급한 바와 같이 미국 AWEA는 Wind Power 2000이라는 획기적인 보급확대 정책을 추진중인데, 이 WindPower 2000 계획으로 미국내 안정적 시장 형성을 위한 중장기의 건설계약과 풍력발전기의 생산성 향상 및 대량생산으로 인한 제작단가의 절감 등이 보장될 것이다.

미국내 보급확대를 위한 Wind Power 2000 계획의 구체적 실천 목표로서 AWEA는 다음과 같은 사항을 설정해 놓고 있다.



## 기술동향

- 2000년도까지 계통연계형 풍력발전설비 누적용량 10,000MW 달성
- 최소한 연간 3,000MW의 풍력발전기를 생산해 낼 수 있는 40억불 규모의 풍력산업기반 조성
- 주로 생산직 분야의 장기적이며 전문적인 약 70,000개의 고용 창출
- 4¢/kWh 이하의 안정적 발전단가 달성 및 현재보다 30%정도 싼 제작단가 목표 달성
- 풍력발전기술을 지구 기후 보전을 위한 국가차원의 주요 수단으로 부각

### (나) 덴 마 크

미국과 마찬가지로 덴마크 역시 20세기 초반부터 농업용으로 풍력기기를 활발히 이용하기 시작하였고, 1950년부터 연구개발 프로그램이 시작되어, 많은 국가적인 장려책과 지원협정이 풍력단지를 소유한 기관과 전력회사간에 체결되어 양적인 팽창이 이루어지고 있다.

1979년 이전에는 약 200~300기의 소형(10~15kW) 풍력발전기가 설치운전되었으나, 그 이후 다양한 용량의 풍력발전기가 개발되어 1981년도에는 55kW용량의 발전기가 개발되어 주종을 이루고 있다.

그 이후 계속된 개발로 1993년도에는 250~300kW의 풍력발전기가 주종을 이루며 덴마크 전체 전력수요의 3% 정도를 풍력발전으로 공급할 정도로 비약적인 발전을 거듭하였다. 1994년 기준으로 3,500여대의 풍력발전기가 총용량 540MW를 이루며 연간 9억kWh 정도의 전력을 생산해 내고 있다.

이의 배경에는 국가적인 차원에서 9.5¢/kWh의 발전단가를 보장해주고 부가세 및 에너지세 감면 등의 혜택이 큰 역할을 했다고 볼 수 있으며, 덴마크는 자국내 시장뿐만 아니라 해외시장도 활발히 개척하여 1994년도 기준으로 전세계 설비용량의 52% 정도를 차지할 정도로 기술적인 안정 단계에 진입할 것으로 평가되고 있다.

덴마크의 전력회사들은 '70년도 중반부터 풍력발전에 대한 연구개발에 착수하여 주로 대형 풍력발전기(MW급)의 개발에 주력하여 2기의 630kW급이 1978년도 이후부터 가동중에 있고, 1993년도부터는 단일기로 1MW용량의 풍력발전기를 가동시키고 있을 정도로 활발히 개발에 박차를

가하고 있다.

1985년도부터 1991년까지 100MW의 풍력발전기 용량을 추가 설치하는 계획을 추진하여 성공적으로 마쳤으며, 1992년 이후부터 새로운 100MW 용량의 추가설치를 추진 중에 있다.

이외에도 덴마크는 세계 최초로 국가적인 차원에서 1990년도에 에너지성(Danish Ministry of Energy)을 중심으로 ENERGY 2000이라는 장기적인 에너지 정책을 추진하여 TORONTO회의에 대처하고 있는 국가이기도 하다.

ENERGY 2000 계획의 주된 내용은 2000년도까지 전체 전력수요의 10% 정도를 풍력발전에 의해 생산하는 것을 목표로 하고 매년 70~110MW 정도의 추가 단지를 건설하며, 2000년도까지 단일기로 800~1,350kW 정도의 풍력발전기를 개발하는 계획이다.

이 계획 후에는 1,000MW의 설비용량을 지나게 될 것이다. 이 계획의 구체적 실행계획으로서 덴마크 정부와 풍력산업계는 다음과 같은 목표를 정하고 있다.

- 경제적 효율성의 향상에 계속 노력
- 600~1,500kW 풍력발전기 상업화
- 소음 감소기술 개발 등으로 풍력발전기의 자연친화력 증대
- 유지관리 비용의 절감

그리고 특이한 것은 덴마크는 국토가 비좁은 나라인 관계로 새로운 풍력단지의 개발대상을 바다로까지 확대하고 있다는 것이다.

즉, 동부해안의 풍부한 풍력자원을 활용하여 해안가에서 4km 바다로 진출하여 6m의 수심에 450kW 풍력발전기 11대를 건설함으로써 30% 정도 생산량의 증가를 가져왔으며 이 VINDEBY 풍력단지는 국토가 좁은 우리나라 같은 상황에서 눈여겨 볼만한 것이라 할 수 있다.

### (다) 독 일

불과 5년전만 해도 60MW 정도의 설비용량에 그쳤던 독일도 1990년 신발전기술에 의한 전력을 의무적으로 매입하도록 규정한 법률 통과와 1991년도부터 2억 4천만 달러가 투자되는 250MW 풍력 프로젝트를 시작함으로써 1994년에는 전세계 추가설치된 용량의 65%가 독일에 설치될 정도로 보급이 활발히 이루어지고 있다.

따라서 1994년도 현재 약 2,540여대의 풍력발전기가 운

전중에 있으며, 설비용량은 634MW로서 연간 3억kWh이상의 전력을 생산해내고 있다.

역시 이런 비약적인 증가에는 국가적으로 발전전력 kWh 당 4¢의 지원금 보조와 전력회사의 11¢/kWh의 전력 구입단가가 보장되는 상황이 크게 기여하였다 할 수 있다.

이후로도 독일은 매년 200~250MW의 추가설치를 금세기말까지 계획하고 있어, 2000년도까지 1,000MW용량을 추가할 계획이며, 2010년도까지 2,000MW의 용량을 추가할 건설계획을 적극적으로 추진중에 있다.

(라) 영 국

1989년도 시작된 NFFO(Non-Fossil Fuel Obligation) 정책에 의해 탄소세가 부과됨으로써, 유럽내에서 많은 풍력 자원을 보유하고 있는 영국에서도 신발전기술에 대한 관심이 높아져 1990년도에서 1998년까지 102,25MW의 신발전방식의 설비를 전력회사가 구입토록 하는 1단계 NFFO 계획이 시작되었다.

이후 2단계 NFFO는 1991년부터 시작되어 2000년도까지 최소한 1,000MW의 설비용량을 갖추려는 목표에 접근하고 있다.

영국은 현재 약 170MW의 풍력설비를 갖추고 있으며, 1995년도부터 시작된 3단계 NFFO계획에 의거하여 추가로 400MW의 풍력설비를 갖추고 이에 대해 8¢/kWh 정도의 지원금을 보조하는 정책이 발표되기도 하였으며, 이 NFFO 계획은 2000년도까지 2단계가 더 진행될 것으로 예상되고 있다.

(마) 중 국

인구가 많고 넓은 지역에 퍼져 살고 있는 중국에서는 지역전원에 의한 지역전화 문제는 매우 심각하다고 할 수 있다. 따라서 자연적으로 풍력발전에 관심이 매우 아져 1994년도 현재 중국내의 총 설비용량은 30MW에 이르며 약 90여대의 계통연계형 풍력발전기가 12MW, 약 126,000여대의 독립형 풍력발전기가 17MW의 용량을 가지고 있다.

중국내 대표적인 풍력단지는 서부지방에 위치한 Dabanchung 으로서 금년도 30MW, 2000년도까지 100MW규모로 확대시킬 계획을 추진중에 있고, 중국 전체로는 2000년도까지

1,000MW의 설비를 운영할 계획을 추진중에 있다.

(바) 일 본

일본은 NEDO주도의 선사인계획에 의하여 1995년도까지 3,000kW의 풍력발전설비를 갖추려는계획을 추진하여, 이미 1994년도말 현재 5,145kW의 설비를 보급하였고 금년말까지 약 6,100kW의 설비가 보급될 전망이다.

2000년도까지 20MW, 2010년도까지 150MW의 설비를 보급할 계획을 추진중에 있다.

(사) 기 타

이외에도 현재 많은 국가에서 풍력발전에 대한 관심이 높아져 국가적인 차원에서의 풍력발전 보급확대를 위한 많은 투자와 정책적 지원을 아끼지 않고 있다.

그 중에서도 인도와 같은 나라는 전력이 공급되지 않는 산간 오지 등이 많고, 기존 발전방식에 비해 경제적인 풍력발전 설비의 보급확대에 많은 노력을 기울여 현재 약 350MW 규모의 풍력단지가 운전중에 있으며, 국가 8차 5개년 경제계획의 일환으로 500MW규모로 확대하여 연간 약 10억 kWh의 전력을 생산해낼 계획을 갖고 있다(표 8 참조).

〈표 8〉 기타국가의 향후 설치계획

국 가	설 치 계 획
스 페 인	150~250
인 도	700~1,200
멕시코	150~300
아르헨티나	100~150
칠 레	100~200
호 주	50~75
뉴질랜드	50~100

(3) 기술개발 목표

세계 각국은 풍력발전설비의 실용화보급에 치중하면서도 보다 경제적이고 신뢰성 있는 풍력발전기를 개발하려는 노력을 멈추지 않고 있다.

다음 표 9에 주요 국가의 풍력발전 관련 기술개발의 목표와 주관기관 등에 대한 자료를 나타내었다.

기술동향

〈표 9〉 주요국가의 기술개발 목표

구분	미국	일본	유럽
개발정책	DOW-WIND Energy Program	New Sunshine Program	joule I, II thermie
가격목표			
시스템가격(\$/kW)	750	-	800
발전단가(¢/kWh)	4	-	4
주관기관			
요소기술	NREL, PNL 전력회사 일반업체	NEDO 전력회사	RISO, GL 전력회사 일반업체
중점분야			
시스템용량	MW급 대규모 풍력단지 건설 및 시스템 효율증대	500kW 시스템의 표준화 및 신뢰성향상	MW급 중대형 풍력발전기 상용화

미국은 DOE를 중심으로 첨단 풍력발전기를 개발하는 사업(Wind Turbine Development Program)에 중점적으로 지원을 하고 있으며, EPRI와 함께 풍력단지의 개발보급을 위한 지원사업(The Utility Wind Turbine Performance Verification)도 병행하고 있다.

풍력발전기 요소기술은 주로 NREL과 정부의 지원을 받는 풍력업체가 주도적으로 역할을 수행하고 있으며, PNL(Pacific Northwest Laboratory)과 수직축 풍력시스템의 전문기관인 SNL(Sandia National Laboratory) 등이 DOE로부터 지원받아 연구개발을 수행하고 있다.

유럽의 경우에는 1990년도부터 THERMIE라는 유럽공동체(EC)주관의 프로그램을 시작하여, 유럽공동체의 에너지 관련기술을 증진시키고 공해물질 배출을 억제하며 관련기술의 제3국 기술전수를 목적으로 진행중이며, 1995년부터는 2단계의 JOULE-THERMIE를 추진하여 에너지 관련기술의 연구개발 및 시범보급에 많은 투자를 하고 있다.

역시 기술개발 목표 중 가장 두드러지는 것은 풍력발전기의 대형화라고 할 수 있으며, 분석에 의해 경쟁력있는 풍력발전기의 규모가 1~3MW급으로 조사됨에 따라 미국을 비롯한 선진국에서는 1MW급 이상 3~4MW급의 초대형 풍력발전기의 개발연구가 진행되고 있다.

한편 상용화된 풍력발전기로서는 유럽의 일부 풍력발전기 제작업체(HSW, WINDMASTER 등)가 750kW급의 풍력발전소를 제작하여 보급하고 있으며, 금년 하반기에는 1MW급의 풍력발전기도 상용화될 것으로 예상되고 있다.

이렇게 대형화되는 풍력발전 관련기술의 개발로 주 보급기종의 용량변화 추이는 다음 표 10과 같다.

〈표 10〉 풍력발전기 주 보급 설비용량의 변화

연도	정격용량(Kw)	회전자 직경(m)
1980년대 초반	10~20	6~12
1980년대 중반	50~60	15~16
1990년대 초반	160	20~22
현재	250~500	25~40
1990년대 말	750~1,500	45~55

이외에도 제작기술의 발달로 1980년도에 52¢/kWh에 달하였던 풍력발전 단가가 현재 6¢/kWh수준으로 낮아졌으며, 최근의 대규모 풍력단지는 3.9¢/kWh내외로 발전단가가 낮아진 곳도 있다. 그러나 일반적으로 1990년대말 경에는 5¢/kWh 이하로 떨어진 풍력발전의 경제성이 더욱 좋아질 것으로 예상되고 있다.

시스템의 설치비도 제작기술의 개발로 3,000¢/kWh하던 설치비가 현재는 750~950\$/kW수준으로 낮아졌으며, 풍력발전기의 신뢰도 향상에 따라 가동률도 증가하였다. 1980년대 초반의 60% 수준에서 현재는 약 97%의 수준으로 향상되었으며, 용량계수도 현재 약 25%내외를 유지할 정도이다.

또 시스템의 유지관리비도 초기에 5¢/kWh의 수준에서 1¢/kWh수준으로 낮아져 더욱더 경제적인 발전방식으로서 자리를 잡아가고 있다. 특히 풍력발전기의 요소기술의 개발로 인하여 전력생산성도 향상되었는데 1982년도에 회전자 1m<sup>2</sup> 면적당 400kW/h년 수준으로 향상되었다.

또한 시스템의 수명도 초기에는 약 5년이었으나 현재는 20년 정도까지로 연장되어 기술발달이 획기적으로 이루어지고 있음을 알 수 있다.

최근에는 미국에서 DOE의 지원하에 회전자의 경량화와 단면형상의 개선 및 요인 구동장치의 제거로 시스템을 단순화하여 발전효율을 회전자 1m<sup>2</sup>당 1,370kWh/년 정도로 증가시킨 Advanced Wind Turbines사의 AWY-26모델도 개발되어 자국내 풍력단지에 공급하고 있으며, 발전효율과 소음면에서 장점을 갖고 있는 트러스 구조의 철탑을 갖는 500kW급 풍력발전기(ZoodSystems'Z-40)도 개발한 상태이다.

이외에도 미국과 유럽을 중심으로 하여 회전자의 정속운전으로 회전자의 운전효율이 낮은 계통연계용 풍력발전기를 보완하여 풍속에 따라 가변속 운전되게 함으로써 회전자의 운전효율을 증가시키는 중대형 풍력발전기(미 Kenetech 33M-VS, 독 Enercon E-33)도 개발 완료하였으며, 발전기의 극수를 크게 하여 증속을 위한 기어장치를 제거하는 다극형 발전기를 개발하고 있을 정도로 첨단기술의 개발에 박차를 가하고 있다.

**다. 국내의 기술현황**

**(1) 개발목표**

대체에너지기술개발 기본계획 중에서 풍력발전분야 역시 3단계 계획이 수립되어 2001년도까지 중형급 풍력발전시스템의 상용화와 MW급 풍력발전단지의 건설 및 운영을 목표로 하는 기술개발계획이 수립되었다. 다음 표 11은 각 단계별 국내 기술개발 목표를 나타내고 있다.

〈표 11〉 각 단계별 기술개발 목표

전 단계 (~91까지 실적)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 풍력자원조사</li> <li>- 도서, 대관령지역 등</li> <li>· 20kW풍력발전설비 개발</li> </ul>
제 1 단계 (92~96)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 중형 풍력발전설비 실용화</li> <li>- 50~100kW급 개발</li> <li>· 풍력시험단지(200kW이내)운영</li> </ul>
제 2 단계 (97~2001)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· 300kW급 발전설비 상용화</li> <li>· 디젤 등 복합발전시설 실용화</li> <li>· Mw급 풍력발전단지 건설운영</li> </ul>

**(2) 사업개발성과**

1단계 사업목표로 정해진 바와 같이 전국 64개 기상청산하 기상관측소, 일부지역의 도서 및 내륙 일부 지역에서 관측된 풍속과 풍향자료를 이용한 풍력자원 특성분석이 한국에너지기술연구소에 의해 이미 이루어져, 어느 정도의 풍력자원량에 대한 판단을 할 수는 있으나 지역적 조건에 크게 영향을 받는 풍력단지를 건설할 시에는 기존의 자료를 참조하여 특정지역을 선정하고, 이 지역에 대한 실질적인 풍속 풍향자료의 수지비와 분석을 선행하여 많은 투자에 해단 효율성 등을 제고하여야 할 것이다.

한편, 신재생에너지에 대한 실용성을 가시적으로 확인하기 위해 1993년도부터 한국에너지기술연구소가 제주 월령에 풍력, 태양광 및 태양열 관련시설로 이루어진 신재생에너지 시범단지를 조성함으로써 우리나라에서도 본격적인 풍력발전에 의한 발전과 한전선으로의 송전 등 획기적인 전기가 마련되었다.

100kW풍력발전기 1기와 30kW 풍력발전기 2기가 설치된 시범단지로 인해 우리나라도 본격적인 풍력발전기를 이용한 실용화에 한발짝 다가선 것으로 평가할 수 있다.

그러나 아직은 풍력발전에 대한 낮은 인지도와 관련 지원책 및 법규의 미비로 민간 차원에서의 지속적인 풍력단지의 건설이 이루어지지 못하고 있는 상황이다.

관련 지원책이나 법규는 정부차원에서 마련을 하여야겠지만 기술적으로는 풍력발전기의 계통연계기술의 신뢰성 확보 또는 계통에 미치는 영향 분석기술 등은 계통을 관리 운영하고 있는 한전의 역할이라 할 수 있다.

이외에도 1단계 사업기간중 한국과학기술연구원이 3년여 동안 소형(20kW)수평축 풍력발전기를 국산화하려는 노력을 시도하였고, 사업2단계에는 복합재료 분야의 전문기관인 한국화이버(주)가 한국형 중형급 풍력발전시스템의 개발을 위하여 다리우스형 수직축 300kW풍력발전기를 개발하려는 노력을 계속하고 있으나 신뢰성을 확보하기까지는 상당한 시간이 걸릴 것으로 판단된다.

**(3) 현재의 기술수준**

국내에서는 1970년대의 유류파동 이후 풍력발전 연구를 시작하였는데, 1975년에 한국과학원에서 경기도 화성군 옛섬에 설치한 2kW급 풍력발전기가 국내 풍력발전기의 효시이다.

1990년대 이전까지 약 20여대의 소형 풍력발전기(1~14kW)가 단위 전원공급용으로 연구개발된 시제품이나 외국으로부터 도입된 발전기로 설치되었으나 지속적인 지원부족으로 관리소홀 등으로 대부분 철거되어 뚜렷한 성과를 올리지 못하였다. 지금까지 국내에서 설치되었던 소,중형 풍력발전기의 현황은 다음 표 12와 같다.

그러나 최근 국내에서도 신뢰성을 이미 확보한 선진 외국의 풍력시스템을 도입하여 풍력발전기에 대한 설치 운영 및

**기술동향**

〈표 12〉 국내 풍력발전시설 설치 현황

설치연도	용량(kW)	대수	주관기관	제작사	설치장소	비고
1975.01	2	1	KAIS	KAIS	경기 화성군 엇섬	철거
1979.12	5	1	KIST/KIER	Electro GmbH	전북 옥구군 죽도	철거
1980.03	10	1	KIST	MAN	전북 옥구군 개야도	철거
1984.06	14	1	KAIST	MAN	제주 북제주군 월령리	철거
1990.03	20	1	한국풍력발전기	JACOBS	전북 옥구군 신시도	가동중지
1992.02	250	1	KIER	HSW	제주 서귀포 중문	정상운전
1992.07	20	1	KIST	KIST	제주 북제주군 월령리	시험
1992.12	170.80	1	한국화이버	FLoWind/자체	전북 무안	시험
1994.12	30	1	KIER	HSW	제주 북제주군 월령리	정상운전
1994.02	100	1	KIER	VESTAS	제주 북제주군 월령리	정상운전

개발 연구가 진행되고 있다.

한국에너지기술연구소가 제주 중문에 설치한 국내 최대의 250kW급과 제주 월령에 설치한 100kW급, 30kW급 풍력발전기의 운전을 통하여 계통연계용 풍력발전기의 운전특성에 대한 연구를 수행하고 있고, 풍력발전기의 성능 특성에 대한 각종 측정 및 분석작업도 병행하고 있다.

그러나 앞서 언급한 한국과학기술연구원에서의 250kW급 계통연계용 풍력발전기의 개발연구, 한국화이버(주)의 300kW급 다리우스형 풍력발전기의 국산화 개발연구 등은 모두 연구개발 단계에 머물러 있어 실용화까지는 아직까지 상당한 시일이 소요될 것으로 보인다.

**(4) 국내의 기술전망**

현재 제주도에 설치되어 정상 운전중인 300kW급과 100kW급, 250kW급 계통연계용 풍력발전기의 운전을 통하여 풍력발전기의 발전특성을 분석하고, 아울러 최적 운영 기술을 확립하여 국산화 기술개발에도 이용할 수 있도록 기술적 경험을 축적하고 있는 상황이며, 우리 스스로의 국산화를 위한 노력도 함께 병행하고 있다.

그러나 현재 진행되고 있는 국산화 개발사업의 내용을 살펴보면 대다수의 요소기술은 이미 국내기술로서 확보될 수 있으며, 일부의 특정 기술만이 그 첨단성과 관련 경험의 부족으로 인해 개발에 어려움을 겪고 있는 것이 사실이다.

따라서 우리나라와 같은 조건에서는 일부 특정기관만이 참여하는 연구개발 형태보다는 기술을 이미 확보하고

있는 기관간의 다자간 공동 연구개발 형태를 취하여 기술교류의 활성화와 투자의 효율성을 동시에 고려하는 방법이 우선적으로 고려되어야 할 것이다.

따라서 현재 전세계적으로 가장 널리 실용화 보급되고 있는 100-250kW규모의 풍력발전기 개발사업을 산·학·연 및 국제 공동연구로 우선적으로 추진하여 시행착오를 최소화하면서 단기간 내에 풍력발전기 국산화 기술개발을 완성토록 함으로써 국내에서의 풍력에너지 보급 활성화와 관련 기술의 충분한 축적으로 보다 대형의 풍력발전기 개발 확립 및 보급기반 마련에 힘써야 할 것이다.

**4. 공통사업현황**

**가.복합발전 및 시범사업**

태양광, 풍력 등 자연 에너지는 에너지 밀도가 낮고 시간 또는 계절별 에너지 분포가 불균일하여 지속적으로 전력을 공급하기 위해서는 별도의 전력저장 시스템과 보조발전 장치의 설치가 요구된다.

특히 계통연계형이 아닌, 도서지역 또는 벽지전원용 독립형 시스템의 경우 이러한 보조설비에 의해 과다한 초기설비 투자가 대체에너지 보급의 제한적 요소가 되며 보조발전장치로서 디젤발전기를 적용할 경우에는 유류 수송과 유지관리 및 공해발생 등의 문제점 때문에 재생에너지 장점을 반감시키는 결과를 초래한다.

따라서 최근에는 태양광-풍력 복합발전시스템이 활발히 연구되고 있으며, 에너지의 분포와 기술의 특성면에서 이상적인 독립형 시스템으로 평가되어 시범단지를 이용한 실증시험이 각국에서 추진되고 있다.

선진국의 경우 실용화 기술개발과 실증시험을 목적으로 MW급의 태양광발전소 및 200kW급 이상의 인산형 연료전지가 시범설치되어 운전되고 있으며, 수백 MW급 이상의 상업용 풍력발전단지도 운영되고 있다.

그러나 일본은 단위기술의 시범단지 이외에도 태양광발전, 연료전지, 풍력발전을 복합적으로 설치하여 체계적으로 연구를 수행하고 있다.

독일의 경우 태양광 발전-풍력발전-바이오가스의 복합발전 시스템을 시범설치하여 운영하고 있으며, 일본과 미국 등에서 태양광-디젤, 태양광-풍력복합 발전시스템의 이용기술의 개발을 위한 실증시험이 강화되고 있다.

특히 벽지 또는 도서지역 등의 독립형 시스템은 일사량, 바람 등의 에너지 밀도가 낮고 시간별, 계절별 에너지 분포가 불균일하므로 전력저장 장치와 보조발전기가 없는 완벽한 전원시스템을 구성하기 곤란하다.

그러나 전력저장용 축전지의 용량을 늘이면 초기투자 설비의 부담이 커지고 디젤보조 발전기를 추가할 경우 연료수송과 유지관리 및 환경오염 때문에 신발전기술의 「Clean & Safe」 효과 반감된다.

따라서 재생에너지를 이용한 발전방식을 상호 보완하여 독립형 시스템을 구성할 수 있는 복합발전 기술에 관한 연구가 활발하다.

## 5. 결 론

금세기들어 폭발적인 인구증가 및 산업의 고도성장으로 인하여 세계각국의 에너지소비량은 날로 증가하는 추세에 있는 반면, 70년대의 2차에 걸친 에너지파동 등으로 인하여 각국은 에너지원의 안정적인 확보와 기존의 화석에너지를 대체할 대체에너지원의 개발에 박차를 가하고 있다.

신·재생에너지의 개념이 석유대체에너지에서 미래의 무한정한 에너지원으로 전환되고 환경보전을 위한 원천적인 대응방안으로 인식됨에 따라 신재생에너지 특히 전력생산과

연계되는 태양광발전, 연료전지, 풍력발전의 기술개발은 선진국을 중심으로 활발하게 추진되고 있다.

전력생산과 연계되는 에너지원중에서도 풍력발전기술은 점차 급속히 증가하고 있는 세계적인 전기수요에 대한 적절한 형태의 기술이며, 점차로 기술적 어려움이 해결될수록 다른 발전방식에 비해 상대적인 경제성을 갖게 되었고 미국의 Worldwatch Institute는 다음세기 중반까지는 풍력발전이 전세계 전력 수요량의 10% 이상을 공급할 수 있을 것으로 확신하고 있다.

절대적으로 부존자원의 부족을 느끼고 있는 우리나라도 날로 성장하는 에너지 다소비생산업과 국민생활의 향상으로 나날이 에너지의 사용량이 증가함으로써 우리나라도 화석에너지를 대체할 대체에너지원의 개발에 적극적인 노력을 하고 있으나 현재까지는 선진외국에 비해 전반적으로 뒤져 있는 상황이라 할 수 있다.

한전에서는 앞에서 언급한 바와 같이 1991년부터 2006년까지 총 2700여억원을 투입, 태양광발전, 연료전지 및 풍력발전 부문에 대한 대체에너지 기술개발사업을 추진, 「초일류 회사경영을 위한 기술경쟁력 확보」를 연구개발목표로 하고 전력생산 원가 절감 및 공급안정, 전력사업과 환경 조화 및 대체전원 개발 및 경영다각화 기술개발을 기본방향으로 설정하고 사업을 추진하고 있다.

태양광발전, 연료전지, 풍력발전 등 신발전기술은 이러한 기본방향과 일치되는 기술로서 전력사업과 환경의 조화, 대체전원개발 및 미래지향적인 전력수급의 안정 등 한국전력의 연구개발 목표를 달성하기 위해서는 반드시 실용화되어야 할 기술분야이다.

우리나라의 신·재생에너지 중 개발 가능성의 면에서 보면 태양에너지보다는 풍력 등이 개발가치가 높은 것으로 평가되고 전력으로 변환하여 이용하는 재생에너지 이용기술이 확립된다면 가까운 장래에 보급이 확대되고 10년내지 12년내에 모든 에너지원 중에서 가장 저렴한 가격으로 전력을 생산할 수 있을 것이라 판단되고 있다.

따라서 현재 막대한 자금을 투입하여 추진하고 있는 도서·벽지 전화사업에 위에서 언급한 풍력발전 시스템이나 태양광-풍력 복합발전 시스템을 도입한다면 우리나라의 신에너지 분야의 새로운 영역을 개척할 수 있을 뿐만 아니라 관련 산업에 대한 파급효과도 크리라고 사료된다.