기술시장보고서 | 2010

NWP와 CFD기법을 연계한 시계열(time series) 바람장 해석기법 및 시스템 개발

박성욱, 김명일, 정희석

한국과학기술정보연구원

序 言

'9988!' 이는 중소기업의 중요성을 함축적으로 나타내는 구호입니다. 국내 총 사업체수 중에 99%가 중소기업이고 총 근로자수의 88%가 중소기업에서 일하고 있다는 사실을 일깨워주고 있습니다. 이렇듯 중소기업은 국가 산업의 根幹을 이루고 있다 할 수 있습니다. 그렇지만 국가 산업경제에 없어서는 안 될 이 중요한 중소기업은 지금 참으로 어렵습니다. 국제적인 금융 위기 여파로 자금조달에 극심한 난관을 겪고 있습니다. 5인 이하의 근로자가 근무하는 중소제조업체 수가 22만개로 전체 중소제조업체수 30만개에 약 74%에 이르고 이들의 평균 이직률은 약 20% 정도로 높은 편입니다. 이렇듯 국내 중소기업은 고질적인 인력난에 시달리고 있습니다. 중소기업을 더욱 어렵게 하는 현실은 제품 개발 및 생산에 필요한 장비의 75%이상 보유한 기업체수가 전체에 약 19% 정도라는 사실입니다. 중소기업은 자금, 인력과 연구장비 등의 부족으로 인해 기업 경쟁력을 지속적으로 유지할 수 없게 되어 10년 내에 약 13%의 중소기업이 사라지는 안타까운 현실이 반복되고 있습니다.

이에 정부는 중소기업의 현실적 어려움을 해결 지원하기 위해 해마다 R&D 투자비를 증액하고 있습니다. 첨예한 시장경제 속에서 우수한 제품 경쟁력만이 유일한 생존의 길이 될 것입니다. 이를 위하여 중소기업청과 한국과학기술정보연구원(KISTI)은 슈퍼컴퓨터 활용을 통하여 중소기업의 제품을 글로벌 경쟁력을 갖추도록 제품에 대한 첨단 설계를 지원하는 한편, 제품에 대한 신기술 및 글로벌 제품 시장 동향을 면밀히 조사 분석하여 제공하고 있습니다.

본 보고서는 슈퍼컴퓨터 활용을 통해 개발된 제품에 대한 국내외 기술 동향과 세계 시장 판세를 종합적으로 조사된 것으로 알고 있습니다. 슈퍼컴퓨터 활용 지원과 제품 시장동향 분석에 각고의 노력을 경주한 KISTI 연구원의 노고를 치하하며 아무쪼록 본 보고서가 향후 기업의 생존의 열쇠가 될 수 있기를 기대합니다. 감사합니다.

2010년 10월

한국과학기술정보연구원 원장 박영서

<제목 차례>

제1장 기술개요 및 특징 ····· 4

1. 대상기술개요 ····· 4
2. 기술발전방향 ····· 5
3. 국내외 기술개발 동향 ····· 8
4. 경쟁·대체기술 동향 ····· 12

제2장 국내외 시장동향 ····· 16

1. 시장구조 ····· 16
2. 업체동향 ····· 19
3. 시장규모 및 전망 ····· 21

참고문헌 ····· 26

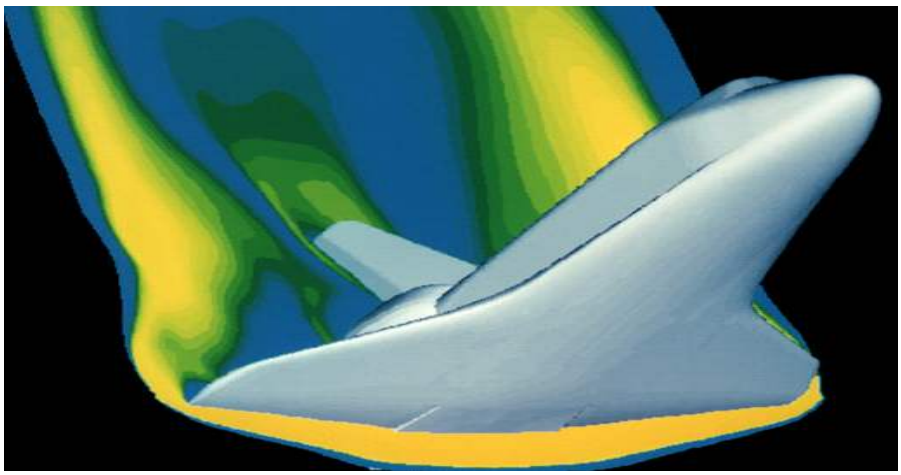
기술개요 및 특징

제1장 기술개요 및 특징

1. 대상기술개요

위키백과(2010)에 의하면, 전산유체역학(CFD, Computational Fluid Dynamics)은 유체 현상을 기술한 비선형 편미분방정식인 나비에-스토크스 방정식(Navier-Stokes Equations)을 FDM (Finite Difference Method), FEM (Finite Element Method), FVM(Finite Volume Method) 등의 방법들을 사용하여 이산화하여 대수 방정식으로 변환하고, 이를 수치 기법(numerical methods)의 알고리즘을 사용하여 유체 유동 문제를 풀고 해석하는 것이다. 컴퓨터를 사용하여 공학 문제에서 유체와 기체의 상호작용을 시뮬레이션한다. 그러나, 식의 여러 가정을 통해 간단히 하거나 슈퍼컴퓨터를 사용한다 하더라도, 대부분 근사해만을 얻을 수 있다. 적용된 모델이 실제에 더욱 가까울수록 아음속이나 난류 문제와 같은 복잡한 현상의 시뮬레이션이 보다 정교해진다. 코드의 검증은 실험을 수행하여 얻은 정량적 정성적 데이터와 그 오차를 비교하여 이루어진다. 전산 유체 역학은 단상 및 다상 유동(single- and multi-phase flow), 연소(combustion) 및 화학 반응(chemical reaction) 등 다양한 문제들을 해석할 수 있도록 개발되고 있다.

<그림 1> 고속공기흐름에서 컴퓨터 시뮬레이션



자료: 위키백과(2010)

가상의 공간에서 바람의 이동을 확인할 수 있는 기법으로 전산유체해석(CFD , Computational Fluid Dynamics)이 사용되고 있지만 전산유체해석의 경우 주어진 경계에서 일정 바람이 분다는 가정하에, 그 바람이 복잡한 구조물에서 어떻게 변하는가를 연구하고 확인하는 기술로 이 방법의 가장 큰 문제점은 실제로 바람의 정보, 즉 바람이 어디에서 얼마나 불어오는지를 확인할 수 없다는 것이다. 이런 문제를 해결하기 위해서 실제 바람을 연구하는 기상분야에서는 다년간의 통계적 관측 자료를 입력 정보로 이용하는 수치기상예측(NWP, Numerical Weather Prediction)을 이용해서 대규모의(일반적으로 지구규모나 한반도 규모) 해석을 진행하고 있다. 이 방법은 계산되는 격자의 크기가 수십 km에서 수 km에 해당하는 우리나라와 같이 산악의 복잡한 지형이나, 도심지형의 자세한 지형구조물의 영향을 고려할 수 없고, 바람의 해석에 필수적인 난류와 경계층 등을 전부 수치적으로 모사해야 하는 단점으로 정확한 결과를 예측하기 어려운 점이 있다.

2. 기술발전방향

단상 유동(single phase flow)에 대해, 모든 유체 역학 문제의 지배적인 방정식은 나비에-스토크스 방정식이다. 나비에-스토크스 방정식은 이제까지 발견된 방정식 중 가장 어려운 방정식 중 하나로 평가되고 있으며, 아직까지 이에 대한 해석적인 해는 없는 것으로 밝혀져 있다. 전산 유체 역학은 이런 나비에-스토크스 방정식을 공간 및 시간에 대한 이산화와 수치해석적인 기법을 통해 풀기 위하여 개발되었다. 따라서 전산 유체 역학을 나비에-스토크스 방정식을 직접 푸는 것으로 오해하면 안된다. 어디까지나 근사적인 수치해를 구하는 것이기 때문이다.

3차원 날개의 viscous 격자계 나비에-스토크스 방정식에서 점성 항을 제거하면 좀 더 단순한 오일러방정식이 된다. 여기서 와류 항을 제거하면 좀 더 단순한 완전 포텐셜 방정식(full-potential equation)이 된다. 마지막으로, 이 방정식을 선형화하면 선형 포텐셜 방정식 (linear-potential equation)이 된다. 이런 단순함으로 인해 역사적으로는 선형 포텐셩 방정식을 풀기 위한 기법이 가장 먼저 개발되었다. 1930년대, 이차원 상의 실

린더에서 에어포일 주변 유동에 대한 유동을 등방성 변환(conformal transformations)을 이용하여 계산하는 기법이 개발되었다. 컴퓨터의 발달로 가용 계산량이 점차로 증대함에 따라, 3차원 유동에 대한 해석 기법의 개발이 현실화되기 시작하였다. 1966년에는 실용적인 선형 포텐셜 이론에 대한 3차원 해석 기법이 더글러스사의 A.M.O. Smith에 의해 발표되었다. 이 기법은 어떤 형상의 표면을 패널로 이산화(discretizing)하였고, 이 기법을 패널법(Panel Methods)이라 명칭하였다. 패널법은 매우 간단하여서, 양력이 작용하는 유동뿐만 아니라 선박 및 항공기에까지 적용이 되었다. 1968년, 최초의 양력 패널 코드 (A320)가 보잉사의 Paul Rubbert와 Gary Saaris에 의해 발표되었다. 그 동안, 더 발전된 3차원 패널 코드가 보잉(PANAIR, A502), 록히드 (Quadpan), 더글러스 (HESS), 맥도넬(MACAERO), NASA (PMARC)와 Analytical Methods (WBAERO, USAERO, VSAERO)社 등에 의해 개발되었다. Quadpan, PMARC, USAERO, VSAERO들이 각 표면 패널에 대해 단일의 특이점을 사용한 데 반해, PANAIR, HESS 그리고 MACAERO와 같은 몇몇 코드들은 고차항까지 계산이 가능하였고, 따라서 고차항의 표면 특이점(surfact singularities) 분포를 사용하였다. 고차항을 사용하지 않는 코드의 장점은 당시 컴퓨터 성능으로도 매우 빠르게 계산가능하다는 것이었다. 현재 VSAERO는 낮은 차수는 물론 고차항까지 폭넓게 계산 가능하며, 현재 가장 폭넓게 사용되는 패널 코드 중 하나이다. 이 프로그램은 다수의 선박, 잠수함, 자동차, 헬기, 항공기는 물론 최근에는 풍차 해석에까지 매우 다양한 용도로 사용되고 있다. 자매 프로그램이라 할 수 있는 USAERO는 고속 열차나 경주용 요트와 같은 물체 주변의 유동을 해석할 수 있는 비정상 패널 코드이다. NASA의 PMARC 코드는 VSAERO의 초기 버전이며, 상용으로 개발된 PMARC의 또 다른 버전인 CMARC가 있다.

이차원에 있어서, 다수의 패널 코드들이 에어포일 해석 및 설계를 위해 개발되었다. 이 코드들은 보통 경계층에 대한 해석도 포함되어 있어서(주로 반경험적인 en method나 에플러 기법 등이 포함된다), 점성 효과를 모델링할 수 있었다. NASA로부터의 약간의 자금 지원을 통해, 슈투트가르트 대학의 Richard Eppler 교수가 PROFIL이라는 코드의 개발을 시작하여 1980년대 초반에 사용하기 시작하였다. 곧바로 이를 통해 MIT의 마크 드렐라(Mark Drela) 교수의 XFoil 코드가 개발되었다. PROFIL와 XFoil은

2차원 패널 코드를 포함하고 있으며, 에어포일 해석 작업을 위해 경계층 해석 코드와 연계되어 있다. 두 코드 모두 등방 변환기법을 사용하였지만, PROFIL은 에어포일의 역설계를 위한 것이었고, XFoil은 에어포일 설계를 위한 역 패널법을 적용하였다는 점이 다르다. 두 코드는 현재에도 매우 광범위한 공학적 문제들을 다루는 데에 사용되고 있다.

패널 코드와 완전 포텐셜 유동 해석 코드의 중간 단계로, 천음속 미소 교란 방정식(Transonic Small Disturbance equations)을 해석하는 코드가 사용되었다. 특히 1980년대 그루먼 항공社의 Charlie Boppe에 의해 개발된 3차원 코드 WIBCO는 다양한 공학적 문제들에 대해 비중있게 사용되었다.

패널 코드가 천음속에서의 유동의 비선형적인 특성을 제대로 예측하지 못하자, 개발자들은 곧바로 완전 포텐셜 유동 해석 코드로 눈을 돌렸다. 처음 완전 포텐셜 유동 해석 코드에 대해 기술한 것은 1970년 보잉社의 Earll Murman과 Julian Cole이 발표하였다. 뉴욕대 (NYU) Courant 연구소(CFL Number로 유명한)의 Frances Bauer, Paul Garabedian, David Korn는 현재에도 널리 사용되는 이차원 에어포일에 대한 완전 포텐셜 유동 해석 코드들을 잇달아 발표하였다. 그 프로그램을 H라 불리었다. 그루먼 항공사의 Bob Melnik과 그의 동료들은 H를 더욱 발전 시킨 Grumfoil 이란 코드를 개발하였다. 1975년 뉴욕대 Courant 연구소의 Antony Jameson(원래는 그루먼 항공社 소속이었다)가 David Caughey와 함께 FLO22란 3차원 완전 포텐션 유동 해석 코드를 개발하였다. 다수의 완전 포텐셜 유동 해석 코드가 이 시기에 개발되었고, 보잉社의 Tranair(A633) 코드가 개발되면서 정점에 이르렀다. Tranair코드는 현재에도 많이 사용되는 코드이다.

다음 단계는 오일러 해석 코드였다. 오일러 해석 코드는 천음속 유동에 대해 더 정확한 해를 제공해 줄 것으로 기대되었다. 1981년 Jameson에 의해 개발된 3차원 오일러 코드인 FLO57은 이후 록히드社의 TEAM 코드와 IAI/Analytical Method社의 MGAERO 코드의 모태가 되었다. 당시 성공적이었던 NASA의 CART3D 코드, Lockheed社의 SPLITFLOW 코드 그리고 Georgia Tech의 NASCART-GT와 같은 코드들은 형상에 들어 맞도록 구성된 정렬 격자 코드를 사용한 데 반해, MGAERO는 독특하게도 데카르트 좌표계를 기준으로 삼는 정렬 격자 코드였다.[1] 1985년 Antony

Jameson은 또한 3차원 오일러 해석 코드인 AIRPLANE을 개발하는데, 이는 사면체로 구성된 비정렬 격자에 대한 해석을 위한 코드였다.

2차원 영역에서, Mark Drela와 Michael Giles가 MIT의 대학원생 시절 에어포일 설계와 해석에 사용하기 위한 오일러 해석 코드인 ISES를 개발하였다. (사실 이것은 여러 프로그램들을 하나로 묶은 것이었다) 1986년, 이 코드의 실제 사용이 가능해졌고 이후 단일 에어포일뿐만 아니라 다요소 에어포일(앞전의 슬랫이나 뒷전의 플랩 등이 있음을 의미)에 대한 해석, 설계 및 최적화가 가능한 MSES로 발전되게 된다. 현재에도 MSES는 전 세계적으로 널리 사용되고 있다. MSES로부터 발전되어 익렬(블레이드와 같이 여러 에어포일이 나열된 것을 말함)에 대한 해석 및 설계가 가능한 MISES라는 프로그램이 당시 MIT의 대학원생이었던 Harold "Guppy" Youngren에 의해 개발되었다.

현재에도 나비에-스토크스의 해석은 전산 유체 역학 코드 개발자들의 궁극적 목표이다. NASA 에임즈 연구 센터에서 개발된 ARC2D와 같은 2차원 나비에-스토크스 해석 코드가 발표되었다. 그 이후에도 3차원 나비에-스토크스 해석을 위한 OVERFLOW, CFL3D와 같은 NASA의 성공적인 기여작들이 계속해서 개발되었으며, 이느 현재 개발되고 있는 수많은 상용 전산 유체 역학 프로그램의 모태가 되었다.

3. 국내외 기술개발 동향

전산 유체 역학에 있어서 가장 기본적인 고려사항은 연속체로 가정한 유체 입자 집합들을 어떻게 컴퓨터상에서 계산이 가능하도록 이산화할 수 있는가이다. 그 중 하나는 공간 도메인(spatial domain)을 매우 작은 공간 격자(volume mesh or grid)로 이산화하고, 각각의 격자에 대해 운동 방정식을 세워 적절한 수치 알고리즘을 이용하여 계산하는 것이다(비점성 유동에서의 오일러 방정식이나 점성 유동에서의 나비에-스토크스 방정식). 추가적으로 이산화된 격자는 일정할 수도 있고 일정하지 않을 수도 있다(2차원의 경우 2차원에서 삼각형 격자나 3차원에서 피라미드 격자를 들 수 있음. 격자의 i, j, k 색인화(indexing)가 가능하며, 실제 격자 노드의 좌표와 논리적인 격자(logical representative grid)간의 1:1 사상(mapping)

이 가능한 경우 정렬 격자계(structured grid)라고 하며, 그렇지 않은 경우 비정렬 격자계(unstructured grid)라고 함). 따라서 각각의 격자를 구분하기 위해서는 서로 다른 저장 공간(대표적으로 시스템상의 메모리)에 위치해야 한다. 만약 충격파나 불연속한 곳이 있을 경우, Gibbs 현상(Gibbs Phenomenon)이라 불리는 해석 결과의 진동을 막기 위해서는 총 변화 억제 (TVD; Total Variation Diminishing)나, 유속 수정 수송 (FCT; Flux Corrected Transport), 비진동 (ENO; Essentially NonOscillatory) 혹은 MUSCL (Monotone Upstream-centered Schemes for Conservation Laws)과 같은 고차항 계산이 가능한(혹은 고해상의) scheme이 필요하다.

전산 유체 역학에는 격자를 이용하여 계산하지 않는 다양한 방식 또한 존재한다. 대표적으로 Smoothed particle hydrodynamics (SPH)나 유체 역학적인 문제들을 풀기위한 라그랑지안 기법(Lagrangian method), Chebyshev 다항식이나 구형 조화함수 (spherical harmonics)를 기저 함수(basis function)로 두고 지배 방정식을 투영(projection)하여 계산하는 Spectral methods, 실제 문제를 미소한 격자나 하나의 큰 계가 아니라 데카르트 격자계에 존재하는 중간 크기(mesoscopic)의 계로 등가하여 계산하는 Lattice Boltzmann method (LBM)등이 그것이다.

일반적으로 전산 유체 역학에서 나비에-스토크스 방정식을 풀기 위해 직접 수치 모사 (DNS; Direct Numerical Simulation)와 같이 모든 난류 길이 척도(turbulent length scale)에 대한 해상도를 가진 격자를 이용하거나, 층류 유동일 경우에는 나비에-스토크스 방정식을 단순화하여 직접 계산하기도 한다. 그러나 일반적으로 모든 난류 길이 척도에 대한 해상도를 가진 격자를 계산하는 것은 현존하는 가장 고성능의 컴퓨터를 사용한다 하더라도 매우 어려운 일이다. 이런 경우 난류 유동을 모사하기 위해 난류 모델(turbulent model)이라는 것을 도입하게 된다. 난류 모델에는 DES (Detached Eddy Simulations), LES (Large Eddy Simulations), k-ε 모델, k-ω 모델, 레이놀즈 응력 모델 (RSM; Reynolds Stress Model)과 같은 RANS (Reynolds-averged Navier-Stokes)에 기반한 방정식들이 있다. 이들 난류 모델은 기본적으로 난류 전단 응력과 유동 특성간의 선형 함수 관계를 가정한 Boussinesq 가정(Boussinesq hypothesis)에 기반을 두고 있다. 여기에는 와점성 (Eddy Viscosity)을 나타내는 항인 μt가 매우 중요하다. 이를 와점성 모델 (EVM, Eddy Viscosity Model)이라고 한다. 와점성 모

델의 단점은 해석하려는 문제에 따라 적합한 난류 모델이 사용되지 않는다면, 그 결과가 실제와 매우 큰 차이를 보이거나 물리적으로 불가능한 유동 현상을 예측할 가능성이 있다는 것이다. 그러나 Boussinesq 가정이 가지는 명쾌함과 단순성 그리고 많은 실제 유동 문제에 대해 비교적 성공적인 예측 결과를 보여 왔다는 점으로 인해 와점성 모델은 매우 유용하다. 또한 와점성 모델은 난류 전단 응력의 계산하는 데 있어서 다른 모델에 비해 상대적으로 계산 비용이 적게 든다는 장점을 가지고 있다. 이런 다양한 장점들로 인해 현재 상용으로 판매되는 대부분의 전산 유체 역학 프로그램들은 와점성 모델 및 RANS 기반의 코드로 이루어져 있다.

많은 경우, 나비에-스토크스 방정식을 다른 방정식들과 동시에 풀 수 있다. 여기에 들어가는 방정식으로는 질량 전달 (mass transfer or species concentration), 화학 반응 (chemical reactions), 열 전달(heat transfer) 등이 있다. 고도로 진보된 전산 유체 역학 코드는 혈액과 같은 비뉴턴 유체(non-Newtonian fluids)는 물론 연소와 같은 화학 반응이 일어나는 유동까지 해석이 가능하다.

국내의 경우 에너지기술연구원과 국립환경과학원등에서 바람정보 분석을 위해 NWP를 이용한 해석을 진행하고 있으며 수치기상모델과 전산유체해석을 결합한 해석방법에 대한 관심은 많으나 2010년 현재 아직 연구가 많이 진행되지 못하고 있는 실정이다.

대학의 경우, 부산대학교에서 일부 연구를 진행하고 있지만 NWP에 의한 전체 규모의 바람장 예측에 주된 관심이 있는 정도이다.

국내 풍력단지 중 민간발전사업으로 개발된 강원단지 및 영덕단지는 유럽 컨설팅(독일 라마이어)으로 단지설계를 하였으나, 복잡지형에 대하여 고려되었다. 반면에 지자체의 에너지 보급사업 또는 화력발전회사에 개발된 풍력단지는 대부분 유럽식 단지설계법에 의존하였기 때문에 복잡지형에 의한 오차요인이 포함되었을 것으로 예상된다. 또한 대부분의 풍력단지 및 풍력자원 관련 해석은 국내가 아닌 외국의 컨설팅 사에 의해서 진행되었다. (주) 쎄딕은 한국에너지기술연구원과 공동으로 2007년부터 제주도 월정, 남극 세종기지, 잠실 제2 롯데월드의 풍력자원 등 국내 주요 풍력사업 지역의 풍력평가를 복잡지형을 고려한 CFD 기법으로 수행하고 있다. 또한 그동안의 경험을 바탕으로 해의 정확도 향상을 위한 CFD 해석의 중요 표준화 작업이 진행되었고, 국가 바람지도의 정보를 이용한 초

정밀 바람정보 해석 관련 기술 역시 일정부분 개발된 상태이다.

한국에너지기술연구원 풍력발전연구단에서 지식경제부 신재생 에너지기술개발사업으로 진행중인 「한반도 해역 고해상도 풍력자원 지도 및 단지개발 적합성 평가시스템 개발(2006.12~2009.11)」과 신재생에너지정책연구사업으로 진행 중인 「신재생에너지 자원지도 활용시스템 구축사업(2007.6~2009.7)」에 의해 고해상도(1km*1km) 육·해상 국가바람지도가 결과물로 확보될 예정이다. 국가바람지도는 풍력자원 잠재량을 과학적으로 산출하여 풍력발전 보급목표를 설정하기 위한 정책적인 용도 및 풍력단지 1차 후보지 발굴을 위한 산업적인 용도로 활용될 것이다.

국외의 경우 미국의 AWS는 바람장에 대한 정보를 판매하고 바람장 예측에 대한 소프트웨어를 판매하는 회사이다. 이 회사는 최근에 개선된 NWP로 중간 사이즈의 해석격자(10km x 10km)정도의 해상도를 지원하지만 여전히 해석 격자에 관련된 문제는 CFD와의 연계를 고려하고 있지만 아직 상용화 단계는 아니다. 노르웨이의 Windsim 경우, 대표적 풍력자원 평가 소프트웨어를 판매하는 회사로써 macro 단위의 큰 해석격자(100km x 100km)에 대해서는 바람장을 예측 하고, 대형 풍력 단지설계를 할 수 있는 소프트웨어을 개발하였다. 최근에는 GWS라는 micro 단위의 작은 해석 격자(1km x 1km)를 지원하는 소프트웨어 회사와 공동으로 NWP와 CFD와의 연계를 연구 개발 하는 단계이지만 아직 상용화 되지는 않은 실정이다.

유럽풍력협회(EWEA) 풍력기술개발 전략보고에 의하면 풍력기술 개발 방향을 네분야로 설명하고 있다. 즉, 환경·사회 영향평가, 계통연계·자원예측, 자원평가, 해상풍력자원이다. 이 중 자원예측은 전력생산 극대화를 위한 풍력단지 최적 운영 기술이며 자원평가는 신규 풍력자원 발굴을 위한 원격탐사 등의 신기술이다. 현재 일반인이 접할 수 있는 일반적인 바람지도는 극도의 저해상도 바람지도로써 해상도가 수십킬로미터에 달한다. 이러한 바람지도는 주로 비영리단체들로부터 제공되며 현재 사이트(www.ecobusinesslinks.com)를 통해 여러 가지 바람지도의 형태를 볼수 있다. 하지만 고해상도 바람지도를 이용해 사업화하는 곳은 3TIER, 꺄내, DTU Lab, AWS Turewind, WindLogics 등이 있으며 이들의 경우는 특정 지역에 대해서 초정밀 바람지도를 일정한 값을 받고 제공하고 있다.

유럽풍력학회의 최근 2006~2008, 3년간 발표논문 1,100여편 중 풍력자

원 기술분야 발표논문의 비율은 약 20%정도 된다. 풍력자원 기술분야 발표논문 중 약 15%가 복잡지형에 대한 발표논문으로 해당분야의 중요성을 반증하고 있다. 기술개발 가치사슬의 관점에서 기술분야의 조화로운 개발에 의해서만 최종적인 성과로 이어진다는 것을 감안할 때 유럽풍력학회에서 풍력자원분야가 차지하는 높은 비율은 풍력발전기 관련 하드웨어 개발에만 치중된 우리나라의 기술개발 전략에 시사하는 바가 매우 크다고 할 수 있다.

4. 경쟁・대체기술 동향

한국개발연구원(2009)에 의하면 NWP와 CFD를 연계한 바람 정보와 관련해서 경쟁·대체기술로 있는 에너지시장은 풍력전원을 통해 생산되는 전력의 거래와 관련된 상황을 살펴야 하며, 이에는 신재생전원의 보급계획, 전력생산과 거래에 관련된 제반사항 및 풍력전원을 통한 발전이 화석연료를 통해 생산되는 기존 전력과의 차이에서 인정되는 온실가스저감과 이의 거래시장에 대한 확인이 필요하다. 우선 제1차 국가에너지 기본계획 2008~2030(2008.8.27)에 따라 신재생에너지의 개발, 보급에 대한 정책목표가 수립되어 있고 그 구체적인 내용으로는 2030년 신·재생에너지 보급률을 장기적으로 11%로 확대하는 것으로 계획되어 있다. 2006년 선진국 대비 70% 수준을 2030년 선진국 수준으로 기술을 끌어 올리고 4대 핵심분야를 중심으로 수출산업화 한다는 전략이 포함되고 있다.

<표 1> 에너지시장의 정책 로드맵 요약

구분	지속 또는 강화	신규 검토
중기 (08~12)	-핵심분야 전략적 R&D 지원 강화 및 산업화 촉진 -신재생에너지 의무화제도 도입	-수송용 바이오연료의 안정적 원료확보 -바이오매스 및 자원순환형 에너지의 이용확대 추진
장기 (13~30)	-4대 핵심분야의 해외시장 진출 및 주도권 확보 -신·재생에너지 의무화제도 확대	-공공기관 신재생에너지 사용의무확대 -해양에너지, 해조류등 공급잠재량이 큰 신·재생에너지 개발 및 보급

자료: 한국개발연구원(2009)

제3차 신재생에너지 기술개발 및 이용, 보급 기본계획의 주요 내용은 신재생에너지의 시간단계별 기술개발 로드맵 및 제품화 로드맵을 제시하고 이에 따라 화석연료수준의 경제성 확보시기를 예측하되, 보급목표와 기술개발 목표를 달성하기 위해서 2030년까지 총 111.5조원(보급투자비 100조원, 기술개발투자비 11.5조원)의 투자가 소비될 것으로 전망하고 있다. 국내의 풍력산업현황을 단적으로 설명하면, 국내에서 2.5MW 발전기까지 제작이 가능하지만 국내 제작 풍력발전기는 실증을 통한 검증이 제대로 되지 않아 국내 사업자들에게도 선택을 받지 못하고 있는 형편으로 알려지고 있다. 국내에서는 2009년경에나 D사 등을 통해 3MW급 풍력발전기가 개발되어 검증을 거칠 예정이고 2012년까지 5MW급 해상 풍력발전기가 개발될 예정에 있다. 하지만 선진국은 이미 2002년도에 3MW급 풍력발전기를 개발하였고 현재는 5MW급 발전기 개발이 끝나 검증하고 있는 단계라는 것이 현실이다. 풍력에너지는 간헐성과 비급전성 때문에 향후 전원구성에 상당한 영향을 미칠 수 있을 것으로 예상되며, 관련 문제를 해결하기 위한 여러 가지 노력이 진행되고 있다.

또한 풍력에너지의 경쟁·대체기술로 배출권 거래시장을 들수 있다. 온실가스 배출권 거래의 기반을 제공한 것은 1997년 교토의정서 체결 당시 도입된 '교토유연성체제'로 시장기능의 도입을 통해서 신축적으로 배출가스를 감축하는 '배출권 거래', '청정개발체제', '공동이행'등이 핵심이다. 탄소배출권시장은 크게 할당량거래 시장과 프로젝트기반시장으로 구성되어 있다. 국내에서의 활발한 온실가스 감축사업에도 불구하고 국내 탄소금융 전문기업이 전무하여 주로 해외 중개상을 통해 거래되고 있는 실정이다. 국내 탄소시장의 활성화에 대비한 배출권거래에 대한 경험을 쌓고 해외 거래전문기업 및 거래소의 국내 진출에 대응하기 위한 대표 거래기업 육성이 필요하다 지적이 제시되고 있다. 2009년 9월 탄소배출권 거래 및 투자전문회사인 '한국탄소금융주식회사'가 설립되었고 UN의 CDM사업을 통해 발생하는 배출권과 지식경제부에서 주관하는 온실가스 등록사업에 의해 발생하는 국내탄소배출권을 주요 거래 대상 배출권으로 운용할 방침에 있다. 배출권의 종류는 <표 2>와 같다.

<표 2> 배출권의 종류

단위	단위명	발행자	설명
AAU	Assigned Amount Units	National Registry	Annex B 국가의 초기 할당량
RMU	Removal Units	National Registry	토지이용, 토지이용변경 및 산림 부분에서의 온실가스 감축분
ERU	Emission Reduction Units	National Registry	JI 사업으로 인해 발생된 온실가스 감축분
CER	Certified Emissions Reductions	CDM Registry	CDM 사업에서의 온실가스 감축분
ICER	Teprary CERs	CDM Registry	신규조림 및 제조림 CDM 사업의 일시적 CER
ICER	Long-Term CERs	CDM Registry	신규조림 및 제조림 CDM 사업의 일시적 CER

자료: 한국개발연구원(2009)

국내외
시장동향

제2장 국내외 시장동향

1. 시장구조

김은일(2005)에 의하면, NWP, CFD의 기술을 이용한 대형 풍력발전시스템의 Prototype에 대한 실증시험은 1990년대에 들어서도 WEGA-1를 시작으로 1996년부터 수행된 EU의 WEGA-II 프로그램을 통하여 지속되며, 2000년대 이후에 최종 보고된 바 있다. 이 프로그램에 참여한 풍력발전시스템의 사양은 <표 3>과 같다.

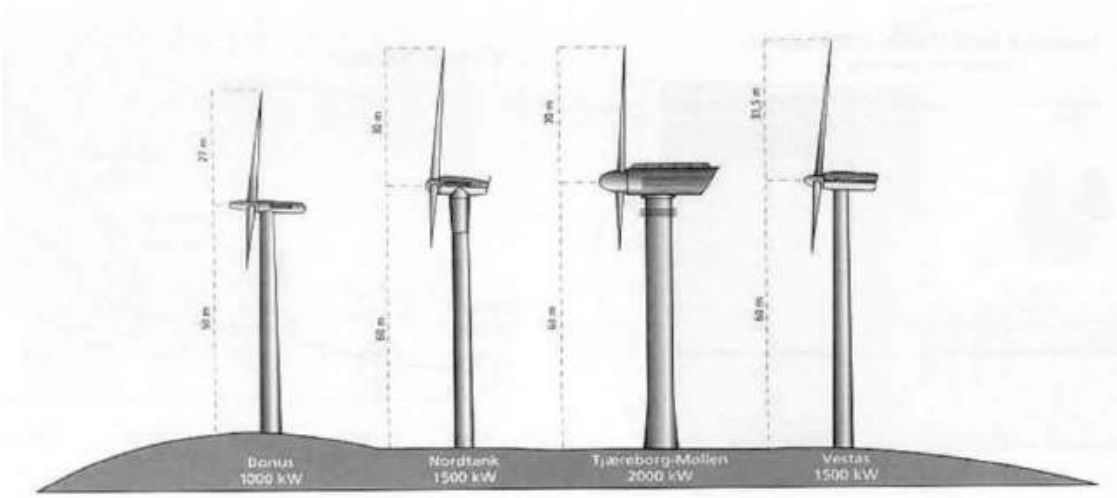
<표 3> WEGA-II 프로젝트 참여 대형 풍력시스템의 사양

Turbine model	Power [kW]	Hub hight [m]	Rotor dia. [m]	Power control	No. of bld.	Rotor speed	Hub type	Aero. brake type	Operation date
Bonus 1000	1000	50	54	Stall	3	Fixed	Stiff	Full span	Sep. 96
Aeolus II	3000	92	80	Pitch	2	Variable	Stiff	Full span	Dec. 93
E 66	1000	60	55	Pitch	3	Variable	Stiff	Full span	Dec. 95
Nasudden II	3000	78	80	Pitch	2	Fixed	Stiff	Full span	Mar. 94
NW50	1000	40	53	Act. Stall	2	Fixed	Stiff	Full span	Mar. 94
NTK1500/60	1500	60	60	Stall	3	Fixed	Stiff	Tip	Oct. 95
Nordic 1000	1000	58	53	Stall	2	Variable	Teeter	Tip	May. 95
V63-1.5MW	1500	60	60	Pitch	3	Variable	Stiff	Full span	Feb. 96
Gamma 60	1500	66	60	Yaw	2	Variable	Teeter	-	Oct. 94
WEG MS4	600	40	41	Act. stall	3	Fixed	Stiff	Full span	Jan. 97

자료: 김은일(2005)

그 가운데 덴마트 Tjaeeborg Enge에서 시험한 풍력발전시스템의 규모는 <그림 2>와 같다.

<그림 2> WEGA-II 프로그램 참여 대형 풍력발전시스템



자료: 김은일(2005)

이후부터 유럽의 풍력연구소들은 수 MW급 풍력발전시스템에 대한 직접적인 연구개발보다는 기초 및 응용연구, 표준과 인증시험 프로그램의 개발로 방향을 전환한다.

<표 4> 21C초 2~5 MW급 풍력발전시스템 개발현황

Maker & type	Capacity [kW]	Hotor diameter [m]	Drive system/output control	Prototype planning
Bonus 2 MW	2000	70	GD/TS/Act.-stall	1998
NEG Micon 72	2000	72	GD/FS/Act.-stall	1999
Vestas V80	2000	80	GD/VS/Pitch	1999
Lagerwey LW 70	2000	70	DD/VS/Pitch	2001
DeWind D8	2000	80	GD/VS/Pitch	2001
Nordex N-80	2500	80	GD/VS/Pitch	1999
DOWEC	3000	90-95	GD/VS/Pitch	2002
ScanWind	3500	90	DD/VS/Pitch	2001
GE Wind 3.6	3600	90-95	GD/VS/Pitch	2001
Enercon E-112	4500	112	DD/VS/Pitch	2001
N.O.K 5	5000	110	GD/VS/Pitch	2002
Pfleid.-MULTIBRID	5000	100	GD/VS/Stall	2002

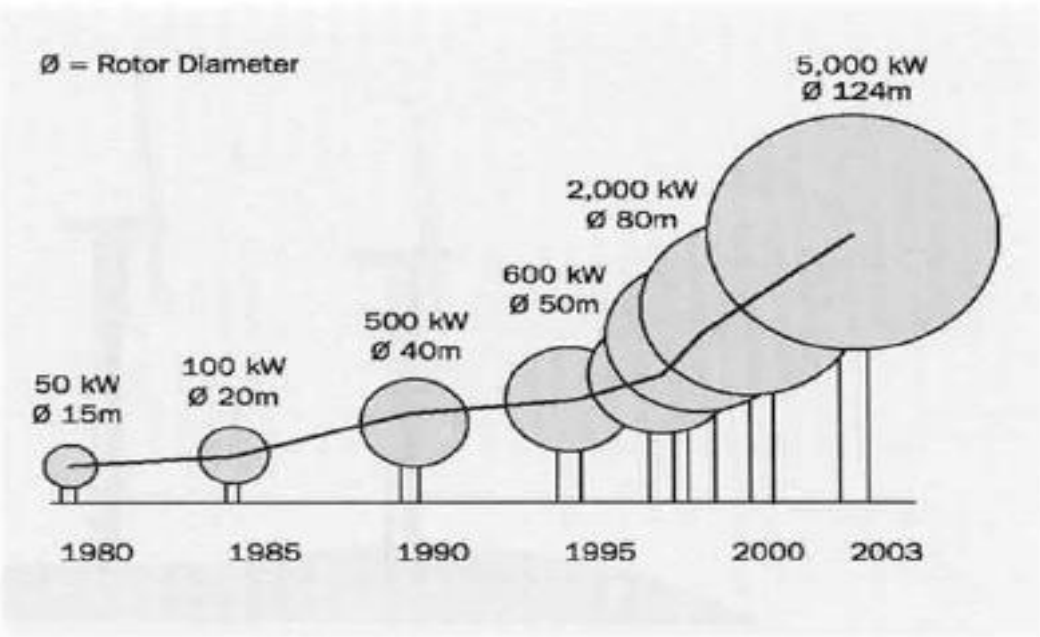
주) DD: Direct drive, GD: Gear driven
TS: Two speed, FS: Fixed speed, VS: Variable speed

자료: 김은일(2005)

그리고 대형 풍력발전시스템의 Prototype 개발은 해상풍력과 같은 시장의 수요를 충족하는 차원에서 덴마크의 Vestas와 NEG Micon, 독일의 Enercon, 미국의 GE Wind, 일본의 Mitsubishi, 스페인의 GAMESA 등 주요 제작사가 주도하게 된다. 21세기 들어 개발중인 대형 풍력발전 시스템의 규모는 2~5 MW급이며 <표 4>에서 보여주는 바와 같다.

2000년대 이후 NWP, CFD의 기술을 이용한 풍력발전시스템은 상업화의 성공시대에 접어드는데 풍력발전시스템의 상업적 보급은 1990년대 중반 이후 본격적으로 이루어지게 되고 2003년말 세계 누적 풍력설비용량은 대략 40GW에 달하고 있다. 또한, 풍력시장의 급성장과 확대에 따라 풍력발전시스템의 대형화는 시장진입의 주요 인자로 작용하게 된다. <그림 3>에서 처럼 풍력시장의 확대와 함께 유사한 추이로 상업용 풍력발전시스템의 단위 용량 규모도 급속도로 성장하고 있음을 알 수 있다.

<그림 4> 풍력발전시스템 단위용량의 대형화 추이



자료: 김은일(2005)

2. 업체동향

바람지도를 이용해서 풍력자원 평가를 하는 국내 업체로는 바람지도의 경우, 한국에너지기술연구원에서 개발된 것이 유일하며, 그 기술의 일부를 (주) 쎄딕에서 참여하고 있다. 이에 한국에너지기술연구원에서 국가바람지도의 데이터베이스를 제공받아 그것을 일반 사용자가 쉽게 사용할 수 있는 서비스를 제공할 것을 염두에 두고 지속적인 개발을 하고 있는 실정이다. 국외 업체로는 Asireland(아일랜드), AWEA(American Wind Energy Association), Sustainability Victoria, AccuWeather, 3Tier, AWS Truewind, WindLogics 등 글로벌 회사에서 바람지도를 이용한 자원 평가에 나서고 있다. 이 바람지도의 경우 복잡지형이 고려되지 않고 한국이 포함된 부분에 대한 정확도가 검증되지 않고 있다.

웹기반 풍력자원 사전평가 및 단지 최적 설계 전문컨설팅 관련 국내 업체로는 민간사업자로는 유일하게 (주)유니슨 기술연구소에서 독일 라마이어사 전문 컨설팅 의뢰 및 영덕 단지 자체 설계등을 통하여 기술을 확보하고 있으며, 국책 연구기관으로는 한국에너지기술연구원 풍력연구단에서 수십년간의 풍력자원평가 및 단지개발을 통한 풍부한 전문컨설팅 지식기반을 구축하고 있다. 그러나 풍력 보급 활성화를 위햇서는 민간사업자를 위한 소규모 발전사업을 위시한 전 사업영역에 대응할 수 있는 전문컨설팅이 절대적으로 요구되며 현재에는 이러한 수요에는 대응하지 못하고 있다. 국외 업체로는 유럽, 미국, 일본 등 풍력단지 개발국가에는 자국 전문컨설팅 회사가 다수 있으며, 이들은 자국 단지개발 뿐만이 아니라 해외 단지개발에도 적극적으로 참여하고 있다. 그런데 유럽 및 미국의 전문 컨설팅 회사는 대부분 단순 지형 풍력단지 설계 경험만을 가지고 있으나 최근 복잡지형 영역에까지 단지 개발이 확대되고 있어 독일 등의 전문 컨설팅 회사에서는 이에 대한 적극적인 기술 대비를 하고 있다. 예를 들면 100kw이상의 상업목적의 컨설팅 회사는 Chinook Wind, Clipper Wind Power, Community Energy, DanMar & Associates, EcoEnergy LLC 등이 있다.

특히 독일의 주요 풍력발전업체 사업동향을 살펴보면 Enercon의 경우 2009년도 신규 설치 용량 1157MW로 독일 시장 점유율의 60% 차지하여 1위를 고수하고 있으며 매년 독일시장에서 800~850MW를 큰 변동없이

유지해왔으나 지난해 경제위기에도 오히려 성장세를 기록하고 있다. 전 세계 시장에서는 2008년 총 2.8GW로 지난해 3.2GW로 성장하고 있다. 최장 24개월내 전 독일에 제품 공급가능하도록 공장을 운영하도록 하고 있으며 최근 개정된 독일 신재생 에너지법이 프로젝트 실현을 촉진시켰다는 분석이 나오고 있다.

<표 5> 2009년도 독일 풍력발전업체 사업 동향

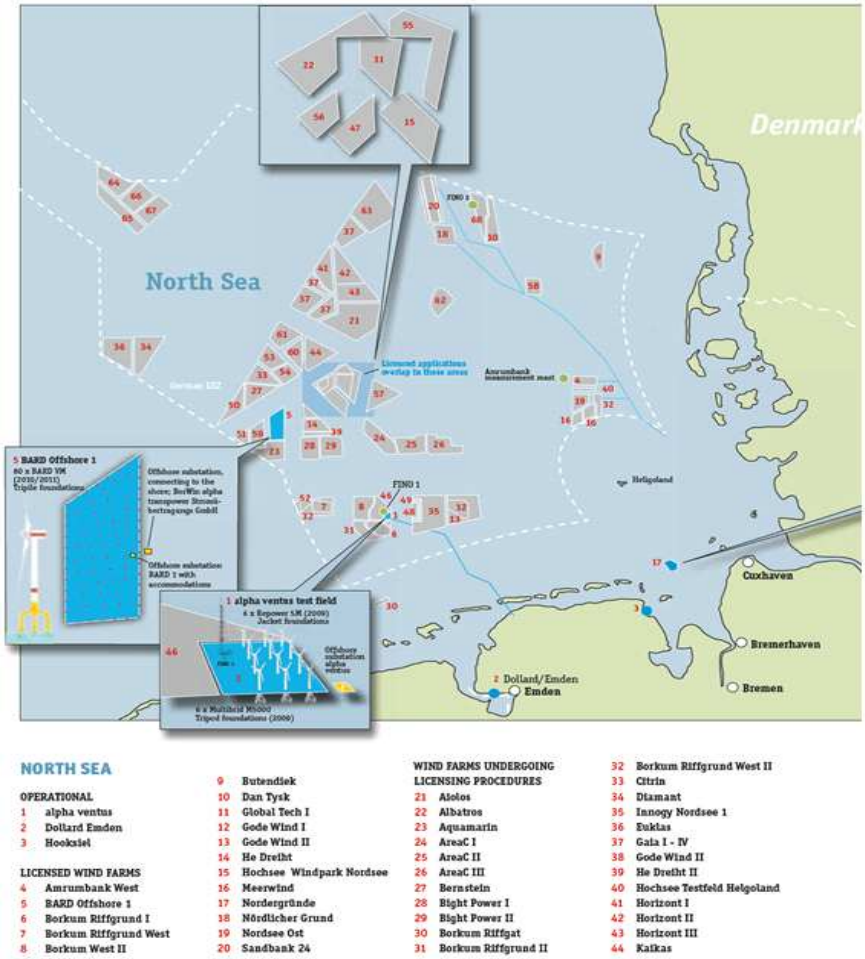
시장점유율 (%)	Nordex	GE Energy	Wensys	Others	Enercon	Vestas	Repower Systems	Fuhrlaender
2008년 총 1665MW	2.2	0.7	0.6	2.8	51.6	31.6	5.6	4.8
2009년 총 1917MW	1.9	1.6	1.2	1.9	60.4	19.5	8.8	4.9

자료: KOTRA(2010)

Vestas는 Enercon과 달리 풍력발전 2위로 전년도 시장점유율은 감소하였다. 2008년도 설치용량 520MW에서 지난해 370MW로 감소하였고 2006년도 773MW, 2007년도 402MW와 비교했을때 독일시장에서 현저한 감소한 추세이다. 2008년도 전 세계설치용량은 5.6GW이다. 이에 대한 Vestas의 해석은 회사들이 자신들의 풍력단지를 개발 운영하지 않고 외주로 진행하다 보니 최종적으로 설치용량 집계시 누락이 발생한다는 것이다.

또한, 독일의 2009년말 해상 풍력프로젝트는 북해 68개, 동해 14개로 총 82개의 프로젝트가 진행중에 있다. 발전기수는 총 5,363개, 발전용량 17.2GW(3.5MW 터빈 기준) ~ 25.6GW(5MW 터빈 기준)에 해당되며, 2008년 최초로 총 60MW 규모의 독일 해상 풍력 시범단지 Alpha-Ventus가 북해에서 전력생산 중에 있다. 독일 연방정부는 2020년까지 북해와 동해에 총 40개의 해상 풍력발전단지를 건설해 12GW 전력을 생산할 계획에 있다.

<그림 5> 독일 북해 해상 풍력프로젝트 현황



자료: KOTRA(2010)

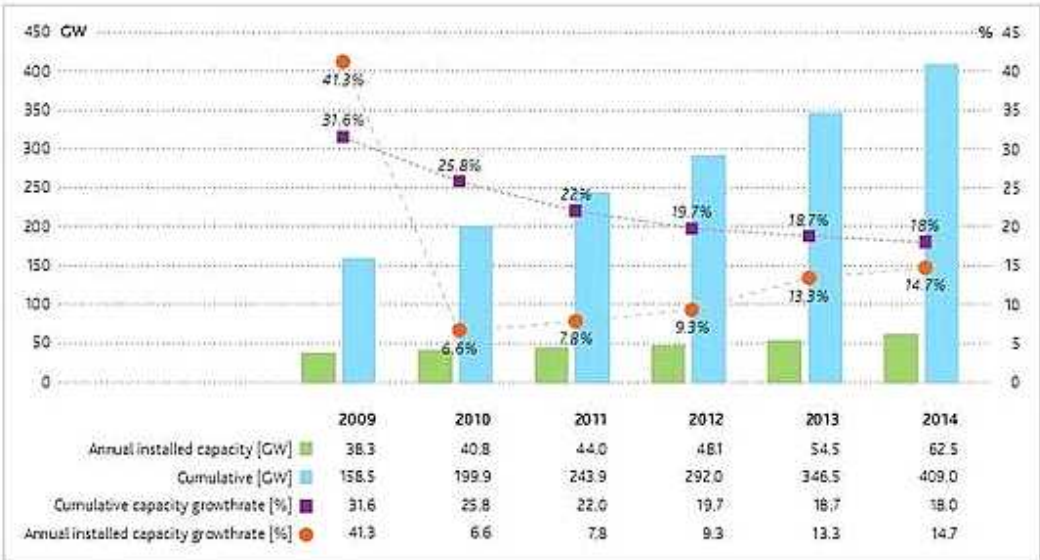
3. 시장규모 및 전망

2010년 4월 9일자 REM(Renewable Energy Magazine)에 따르면, WWEA(Wind Energy Association)는 2005년 이후 풍력산업이 다른 산업 부문보다 더 많은 일자리를 창출했다고 보도하였다. 현재 GWEC(Global Wind Energy Council)은 “Global Wind 2009 Report"의 상세본을 출판하였는데, 동 보고서는 오는 5년 동안 풍력용량이 160%까지 확대되면서 글

로벌 풍력에너지시장이 빠르게 성장할 것으로 추정하고 있다. GWEC는 글로벌 풍력 설치용량이 2010년 말에 158.5GW에서 2014년까지 409GW에 달할 것으로 전망한다. 이는 연평균 성장률로 환산할 때 21%에 달한다(지난 10년 동안 풍력산업은 연평균 29%씩 성장). 그리고 2009년에는 연간 시장 규모가 38.3GW에서 2014년에 60GW 이상이 될 것이다.

GWEC는 자사의 '연간 세계 풍력 2009 보고서' 최종본을 2010년 4월 21일에 열릴 유럽 풍력에너지 콘퍼런스(European Wind Energy Conference)에서 공개할 계획인데, 동 보고서는 세계 풍력에너지 시장 발전의 5년 동안의 전망치를 담고 있다. 그런데 이러한 전망치보다 실체 산업 수치가 더 앞지르는 경향이 있어 왔다. 즉, 실제 풍력산업의 성장이 전망치보다 빠르게 이루어진 것이다. 최근 발생한 금융위기 때도 이 현상은 예외가 아니었다. GWEC의 사무총장인 Steve Sawyer는 글로벌 경기침체 및 금융위기에 직면에서도 풍력에너지는 지속적으로 많은 국가들이 채택하는 기술이 될 것이라고 강조한다. 현재 에너지안보를 강화하고 이산화탄소 배출량을 줄이며, 여러 일자리를 창출하는 것이 대부분의 국가에서 급선무인 가운데, 풍력이야말로 핵심 수단이라고 말한다.

<그림 6> 시장전망: 2010~2014



	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Annual installed capacity [GW]	38.3	40.8	44.0	48.1	54.5	62.5
Cumulative [GW]	158.5	199.9	243.9	292.0	346.5	409.0
Cumulative capacity growthrate [%]	31.6	25.8	22.0	19.7	18.7	18.0
Annual installed capacity growthrate [%]	41.3	6.6	7.8	9.3	13.3	14.7

자료: REM(2010)

글로벌 풍력 확대를 이끄는 주요 시장은 여전히 미국과 중국이 될 것으로 보인다. 이 두 국가는 최근 몇 년 동안 모든 전망치를 앞지르는 성과를 보여줬다. 미국에서는 2010년의 풍력 시장이 금융시장의 경직성과 전반적인 경기침체로부터 위축될 수 있지만, 정부의 경기회복법, 특히 보조금 프로그램이 금융위기의 악영향을 상쇄시킬 것으로 보인다. 그러나 캐나다 연방 차원의 입법 불확실성으로 인해, 북미 시장은 향후 2년간 정체 상태를 보이다가 2012년에 다시 성장할 것이며, 누적 용량이 2014년까지 101.5GW까지 확대될 것으로 전망된다. 이는 향후 5년간 미국과 캐나다에서 신규로 63GW의 용량이 추가된다는 것을 의미한다.

중국에서는 계속해서 놀라운 속도로 풍력 시장이 성장할 것이다. 2009년에 이미 중국은 총 연간 풍력용량 추가분의 1/3(13.8GW 규모)을 차지하였다. 이로 인해 중국은 총 풍력발전용량이 25.9GW에 달한다. 중국은 앞으로 수년간 세계 풍력시장 성장의 주요 동력의 하나로 자리 잡을 것이다. 중국은 2014년까지 20GW 이상의 풍력발전용량을 추가할 전망이다. 동 계획은 전력공급원을 다양화하고 국내 산업을 육성하고자 하는 정부의 공격적인 정책으로 인해 강력히 추진될 것으로 보인다. 중국 정부는 2020년까지 비공식적으로 풍력발전용량을 150GW까지 올리겠다는 목표를 갖고 있는데, 현재 추세라면, 이 야심 찬 목표가 보다 앞서 실행될 가능성도 있다. 한편, 2013년까지 유럽은 지속적으로 세계 최대의 풍력발전 지역으로 자리 매김할 것이다. 그러나 GWEC는 2014년 말까지 유럽의 풍력설비 용량이 136.5GW에 달하는 반면, 아시아 지역은 148.8GW에 달할 것으로 전망하고 있다.

차원민(2009)에 의하면, 유럽의 풍력발전 산업엔 대부분의 작업이 건설과 생산 및 엔지니어링이어서 주로 남성이 고용되고 그 비율은 78%에 달한다. 전 세계 풍력부문에선 2005~2008년 불과 3년간에 235,000명에서 440,000명으로 거의 2배로 증가하였고 이들의 대부분은 고도로 숙련된 일자리이고 이들에 의해서 260TWh의 전략이 생산되고 있다. 특히 풍력발전 부문은 1990년대 말부터 유럽에서 급속히 성장하였으며, 이에 따라 생산시설과 수송 및 송배전망 건설에 대한 투자가 확대되었다. 더욱이 풍력발전단지 개발프로젝트는 건설과 운영관리 그리고 법적 및 환경직 측면에서 고용창출의 기회를 제공한다. 이로써 지방의 지역사회 개발에 크게 기여할수 있어 지방자치단체들에겐 대단히 매력적인 사업이 된다. 뿐만 아니

라 풍력발전에 소요되는 시설과 장비 제작업에 의해 고용되는 비율만 해도 전체 고용의 59%이며, 그 다음에 풍력발전단지의 개발과 운영관리 등도 11%의 비율을 차지한다.

유럽의 풍력발전 기업체의 유형별 고용비율을 보면 발전장비 제조업체가 37%, 부품 제조업체가 22%, 프로젝트 개발인력이 16%, 보수 및 관리가 11%, 시설운영이 9%, 엔지니어링 및 기술자문이 3%, R&D가 1%, 금융 및 보험업무가 0.3%, 기타가 1%로 되어 있다. 덴마크의 경우를 보면 덴마크에는 터빈 제착업체를 중심으로 핵심 부품 제초업체들의 네트워크가 잘 형성되어있고, 이에 종사하는 숙련된 인력집단을 가지고 있어서 풍력터빈 산업에 관한 한 세계적으로 우위를 차지하고 있다.

<표 6> 유럽의 풍력발전 기업체의 유형별 고용비율

유형	고용비율
발전장비 제조업체	37%
부품 제조업체	22%
프로젝트 개발인력	16%
보수 및 관리	11%
시설운영	9%
엔지니어링 및 기술자문	3%
R&D	1%
금융 및 보험업무	0.3%
기타	1%

자료: 차원민(2009)

유럽의 풍력발전 기업체들은 2008년에 104,350명을 고용하고 있으며 2003년도 대비 226%의 고용증대가 이루어졌다. 독일은 38,000명으로 유럽에선 가장 많고 덴마크가 23,500명, 스페인이 20,500명, 프랑스가 6,000명, 영국이 4,500명, 이태리와 포르투칼이 각가 3,000명, 스웨덴과 네덜란드 및 벨기에가 각각 2,000명, 폴란드가 800명, 그리고 오스트리아가 750명으로

유럽의 풍력발전 사업에서 높은 고용수준을 보유하고 있다.

국내 시장의 경우 지식경제부(2009)에 의하면 국내외 시장규모 및 수출·입 현황을 <표 7>과 같이 예상하고 있다.

<표 7> 국내·외 시장규모 및 수출·입 현황

(단위: 백만원)

	2009	2012	2013
세계 시장 규모	150,000	197,000	247,000
한국 시장 규모	22,085	62,000	99,500
	2007	2008	2009
수출 규모	0	0	0
수입 규모	500	1,000	2,000

자료: 지식경제부(2009)

그 산출근거로는 풍력관련 국내외 연구기관은 국내 5개 업체, 해외 130업체이고 대형 건축물 관련 건설사는 국내 30업체, 해외 300업체이고, 환경오염관련 국내외 연구기관은 국내 10업체, 해외 200업체이고, 대기오염 및 기상관련 연구기관은 국내 5기관, 해외 10기관이고 대형 풍력발전기 제작업체는 국내 5업체, 해외 50업체가 존재여 standalone 가격이 30,000,000원, website 이용시 1,000,000원 그리고 업체별로 standalone 1copy와 website 일년 동안 10회 이상 이용시를 기준으로 계산하고 수입규모 산출규모는 대표적 툴인 WAsP, WindPRO 가격을 기준으로 하고 있다.

참고문헌

경남호(2005), “해상풍력발전기술”, 한국태양에너지학회지, 제3권 제3호, pp.56-68.

김은일(2005), “[특집]풍력발전기술 연구개발의 약사”, 태양에너지 제3권 제3호

김현구 외(2009), “국가바람지도 및 지리정보시스템 기반의 해상풍력단지 입지전략연구”, 한국환경과학회지 제18권 제8호 pp.877-883.

위키백과(2010), "http://ko.wikipedia.org"

지식경제부(2009), “신재생에너지 R&D 전략보고서”

차원민(2009), “세계의 풍력발전 개발 현황”, KISTI ReSeat 모니터링 분석 보고서

한국개발연구원(2009), “새만금풍력산업 클러스터 조성산업”, 한국개발연구원 공공투자관리센터

REM(2010), "http://www.renewableenergymagazine.com"

GWEC,(2009), "세계 풍력보고서 2009", Global Wind Energy Council