

국내외 풍력발전 기술개발 및 시장 현황

오 시 덕*

1. 서 론

풍력발전은 최근 10년간 설치 용량이 10배 이상으로 증가하였고, 에너지산업에서 세계적으로 년 30% 이상 빠르게 성장하는 분야로 지난 20년간 설비비 및 발전단가가 비약적으로 낮아져서 화석 연료를 사용하는 발전기술과 경쟁 가능한 기술 중의 하나로 인식되고 있다.

2004년 3월 현재 범세계적으로 풍력발전은 67,668기, 40,301 MW가 설치되어 있고, 국가별로는 독일이 설치용량의 36.3%인 14,612 MW, 스페인이 15.9%인 6,420MW, 미국이 15.8%인 6,361 MW, 덴마크가 7.6%인 3,076 MW, 인도가 5.3%인 2,125 MW로 이들 5개국이 세계의 풍력발전 설치용량의 81%를 나타내었다. 대륙별로는 유럽이 29,301 MW로 66.5%를 차지하고 있으며, 이들 현황은 각국의 기술 및 시장 구조를 대변하는 정책과 밀접한 관계를 가지는 것으로 판단된다. 구체적인 숫자에서 다소 차이가 있으나 최근 WWEA의 발표에 의하면 2004년에 8,321 MW의 신규 용량이 도입되어 누계로 47,616 MW가 보급되어 풍력발전은 지속적으로 발전하고 있음이 확인되었다.

국내의 경우 1975년부터 기술개발을 진행하여 왔으나 기술개발 및 보급 간의 괴리로 현재 상용화와는 다소 거리가 있는 실정이다. 1998년부터 정부의 지원으로 선진국의 신뢰성이 검증된 중형 풍력발전 시스템을 도입하여 조성된 제주의 행원 풍력발전 단지를 시작으로 풍력발전의 가능성을 확인하여 기술개발 및 보급과 관련한 새로운 계기를 마련하게 되었고, 2002년 12월에 확정된 「제 2차 국가 에너지 기본계획」에 의하여 2006년 3%, 2011년 6%의 대체에너지 공급 목표가 설정되었고, 「풍력」, 「태양광」, 「연료

전지」를 3대 중점과제로 집중 지원하고 있어 가까운 장래에 유효한 기술개발 성과를 얻는 경우 국내에서도 풍력발전의 산업화가 가속될 전망이다.

본고에서는 풍력발전 기술 및 시장의 추이, 전망에 대하여 요약, 정리해 보고자 한다.

2. 국내외 기술개발 현황

2.1 풍력발전 기술의 추이

풍력발전은 다양한 형태의 블레이드를 이용하여 바람 에너지를 기계적 에너지로 변환하고, 이 기계적 에너지로 발전기를 구동하여 전력을 얻어내는 기술을 말한다. 풍력발전기술의 개념에서 이슈가 되어 왔던 사안은 블레이드의 개수, 동력 전달 방식, 정속 및 가변속, 스톱 및 피치 제어 등이 있다. 최근 MW급 풍력발전 시스템의 보급량 급증으로 시장에서의 학습을 통하여 육상용 풍력발전의 기술 조합은 3개의 블레이드, 가변속 및 피치제어, Gear Drive 또는 Direct Drive가 시장의 표준으로 인식되고 있다. Fig. 1은 MW급 풍력발전 시스템의 시장점유율의 추이를 나타내고 있으며, Table 1은 상용화된 MW 급 풍력발전의 기술 조합의 추이를 제작사별, 년도 별로 정리한 것이다.

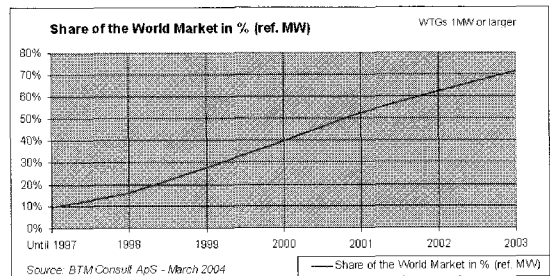


Fig. 1 MW급 이상 풍력발전 시스템의 연도별 시장점유율추이

* (주) 효성 중공업연구소 연구위원/상무
E-mail: ohsidk@hyosung.com

Table 1 MW급 상용 풍력발전시스템의 기술 조합 추이

제조사	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Vestas	1.5, 1.65MW (GD,O,P)	1.65MW (GD,O,P)	1.75, 2MW (GD,VS,P)	1.75, 2MW (GD,VS,P)	1.75, 2.3MW (GD,VS,P)	1.75, 2.3MW (GD,VS,P)
Enercon	1.5MW (GD,VS,P)	1.5MW (GD,VS,P)	1.5, 1.8MW (GD,VS,P)	1.5, 1.8MW (GD,VS,P)	1.5, 1.8MW (GD,VS,P)	1.5, 1.8, 2MW (GD,VS,P)
NEG-Micon	1.1, 1.5MW (GD,CS(2),S)	1.5MW (GD,CS(2),S)	1.5MW (GD,CS(2),S)	1.5MW (GD,CS,S)	1.5MW (GD,CS,S)	1.5MW (GD,CS,S)
GE-Wind	1.5MW (GD,VS,P)	1.5MW (GD,VS,P)	1.5, 2MW (GD,VS,P)	1.5, 2MW (GD,VS,P)	1.5MW (GD,VS,P)	1.5, 3.2, 3.6MW (GD,VS,P)
Bonus	1, 1.2MW (GD,CS(2),AS)	1, 1.3MW (GD,CS(2),AS)	1, 1.3, 2MW (GD,CS(2),AS)	1, 1.3, 2MW (GD,CS(2),AS)	2MW (GD,CS(2),AS)	2MW (GD,CS(2),AS)
Nuondec	1, 1.3MW (GD,CS(2),S)	1, 1.3MW (GD,CS(2),S)	1, 1.3MW (GD,CS(2),S)	1, 1.3MW (GD,CS(2),S)	1.3MW (GD,CS(2),S)	1.3MW (GD,CS(2),S)

Table 1에서 GD는 Gear Drive, O는 Optislip, P는 Pitch 제어, VS는 가변속, DD는 Direct Drive, CS(2)는 2단 정속, S는 Stall, AS는 Active Stall(피치 제어 Stall), C는 정속을 의미한다. 참고로 Table 1에서 2005년 현재 NEG Micon사는 Vestas사로, Bonus사는 Siemens사로 흡수 합병되었고, 세계 4대 제작사에 포함되는 스페인의 Gamesa사는 2000년에 Vestas사와의 합작관계를 청산하여 독자적인 기술개발을 통하여 사업을 전개하여 왔으나 기술조합은 Vestast사와 동일하므로 별도로 분류하지 않았다.

Table 1에서 알 수 있는 바와 같이 대부분의 제작사의 기술 조합의 적용 시기는 각 회사의 기술현황 및 전략에 따라 다르지만 최종적으로는 시장에서 수용되고 있는 기술 조합은 Gear Drive, 가변속 및 피치제어 방식과 Direct Drive, 가변속 및 피치제어 방식으로 수렴되어 왔음을 알 수 있다. 시장 점유율이 세계 1위인 Vestas사가 기존에 채용하였던 Optislip 기술이 극히 제한적인 범위의 가변속을 허용하는 기술임을 감안하여 기술적 속성의 변화가 없다고 가정하는 경우 기술조합에 커다란 변화 없이 제품을 출시하여 온 제작사는 Enercon, GE 및 Vestas 3개사에 불과함을 알 수 있다. 그리고 발전기는 Gear Drive의 경우에는 이중여자방식 유도 발전기(Doubly Feed Induction Generator), Direct Drive의 경우에는 다극 동기 발전기가 시장에서 수용되고 있는 표준기술이나, 현재 Enercon사를 제외한 대부분의 제작사가 Gear Drive의 제품을 공급하고 있어, 세계 시장의 80%이상을 점유하고 있는 Gear Drive 기술이 시장 지배력이 높다고 평가되고 있다. Direct Drive의 경우 Vensys(독일), Jeumont(프랑스), MTorres(스페인) 및 Lagerwer(네덜란드)

사가 시장 진출을 시도하고 있으나 성공적이지 못한 결과를 내고 있다.

또 Table 1에 나타나 있지는 않지만 용량별로는 GE사가 2004년 5월 이후 2.X 시리즈인 2.3 MW, 2.5 MW 및 2.7 MW급을 설치하여 실증 시험을 하고 있고, 스페인의 Gamesa사의 경우에는 2004년 현재 G80-2 MW(블레이드 직경 80 m), G83-2 MW, G87-2 MW 등 3개의 모델 외에 2005년에 G90-2 MW 등 동일 출력에 4개의 모델을 시리즈화하여 지역적 풍황 특성에 따라서 최적의 모델을 제안하는 차별화된 전략을 선보이고 있다. 이와 같은 추이로 볼 때 육상용은 2 MW급 내외가 시장의 주류를 이루고 있고, 기술 조합은 Gear Drive, 가변속, 피치 제어가 시장을 주도하고 있다고 할 수 있다.

2.2 3 MW급 이상 풍력발전기 개발 현황

현재 해상용으로 검토되고 있는 3 MW급 이상 풍력 발전 시스템은 GE Wind(구 Enron Wind)과 Enercon사가 2002년에 각각 3.6 MW 및 4.5 MW급을 출시하면서 3 MW급 이상의 시장을 열었고, 2003년에 NEG Micon사가 4.2 MW(Vestas V110)를 출시하여 3 MW이상급 시장에 진입한 세 번째 회사가 되었다. 이 외에 현재 3 MW급 이상으로 설치하여 시운전 중이거나 출시를 계획하고 있는 회사 및 용량은 Vestas사의 V90-3 MW, V120-4.5 MW, Bonus사의 3.6 MW가 있고, 핀란드의 WinWind Oy.사는 1단 증속기와 다극 발전기로 구성된 3 MW Multibrid형 풍력발전기를 2004년 11월에 설치를 완료하고, 노르웨이의 Scanwind사는 2003년 3월에 3 MW급 Direct Drive 영구자석 발전기를 설치하여 시운전 중에 있다고 한다.

또 계획에 따라서 순조롭게 진행되는 경우 2005년은 5 MW급 풍력발전 시스템의 시운전 결과를 확인할 수 있는 해로 기억될 것으로 기대된다. 5 MW급 풍력발전기는 독일의 REpower사가 Gear Drive, 피치제어, 가변속, Prokon Nord Energiesysteme사가 1단 증속기 및 다극 발전기로 구성된 Multi-brid, 피치제어, 가변속 풍력발전 시스템을 개발하여 시운전을 계획하고 있다고 한다. 그러나 5 MW급 이상의 풍력발전기의 경우 시운전이 정상적으로 진행될 것이라는 제작사의 낙관적인 견해도 불구하고, 상용화까지는 다양한 시련에 직면할 것이라는 의견이 전

문가들의 일관된 전망이다. 사유가 되는 중요한 이슈 중의 하나가 25~40톤에 이르는 크고, 복잡한 형상의 대형 구조물인 허브 및 프레임으로 이들의 제조를 위하여 적어도 6주 이상이 소요되며, 이와 같은 주물을 생산할 수 있는 설비를 갖추고 있는 공장이 유럽에도 숫자가 극히 제한되어 있어 양산을 가로막는 중요한 장애가 될 것으로 전망하고 있다.

현재 풍력발전 산업을 주도하고 있는 제작사들이 해양용의 주력기종으로 3 MW급을 상용화하고 있어 일정기간 동안은 3 MW급 풍력발전 시스템이 해양용 시장의 주력기종이 될 전망이다, 가까운 장래에 5~6 MW가 해상용 풍력시장의 주력 기종이 되며, 향후 10년 내에 10 MW급 풍력발전 시스템의 출현을 예상하고 있는 전문가들도 있다.

2.3 새롭게 등장하는 기술적 현안

육상용의 경우 전술한 바와 같이 두 가지의 기술 조합으로 분류되는 안에 대하여 크게 이견이 없었으나 해양용으로 대형화되고, 운전 조건이 달라지면서 새롭게 등장하는 기술적 현안이 나타나고 있다. 우선 Bonus사가 공급한 2.3 MW, 72기로 구성된 Ny-sted 해양 풍력단지과 같이 성공적인 단지도 있으나 Bonus사가 공급한 2 MW, 20기의 Middelgrunden, GE사가 공급한 3.6 MW, 7기의 Arklow Bank, Vestas사가 공급한 2 MW, 80기의 Horns Rev 등에서 발생한 다양한 문제에 직면하면서 많은 전문가들은 육상용을 개조 또는 보완하여 해양용으로 전용하는 것으로는 불충분하며, 해상용 풍력발전 기술의 경우에도 육상용에서와 마찬가지로 시장에서의 학습이 필요하다는 데 대부분의 전문가들이 동의하고 있는 것으로 판단된다.

또한 대형화와 함께 문제가 되어 왔던 타워 상부 중량(Top Head Mass, 이하 THM)에 따른 Gear Drive 및 Direct Drive 문제가 새롭게 이슈화되고 있다. 즉 육상용에서 시장으로 주류였던 Direct Drive인 Enercon사의 E-112, 4.5 MW의 THM이 500톤, Gear Drive인 REpower사의 5 MW의 THM이 400톤에 달하여 THM이 풍력발전 시스템 대형화에 가장 큰 제약이 될 것이라는 이슈의 대안으로 기술적 불확실성에도 불구하고 급부상된 Multi-brid 5 MW의 THM이 310톤에 불과하여 실현 가능성에 대한 전문가들의 기대를 모아 왔다. 그러나 최

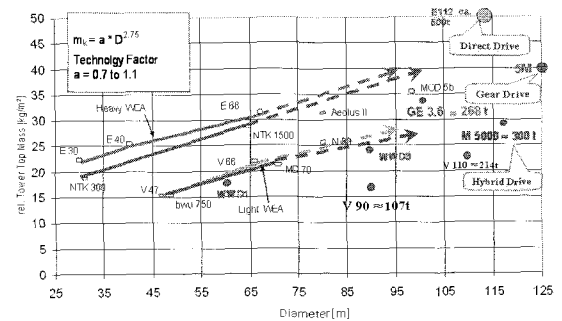


Fig. 2 타워 상부 중량(Top Head Mass)의 추이

근에 Vestas사 V110-4.2 MW(구 NEG Micon사 모델)의 THM이 214톤을 실현하고, V90-3 MW의 THM은 약 107톤으로 GE사의 3.6 MW의 THM인 268톤의 40%이하로 획기적인 결과를 얻으면서 Vestas사는 NEG Micon사를 인수하여 확보한 V-110를 제품 포트폴리오에서 제외하기에 이르렀다. 이와 같은 결과로부터 기술의 불확실성이 적은 Gear Drive를 적용하는 경우에도 THM을 획기적으로 줄일 수 있다는 가능성을 확인하면서 Multibrid의 유효성이 새롭게 기술적 이슈로 등장되고 있다. 또 이와 관련하여 풍력발전 사업에 새롭게 진입하는 미국의 Clipper Windpower사는 Clipper D-Gen Quantum 형으로 명명된 4개의 출력축을 가지는 2단 증속기에 656 kW 출력의 4개의 발전기로 구성된 2.5 MW급 풍력발전기를 2005년 중에 설치, 시운전하겠다고 계획하면서 동력전달 형식에 대한 새로운 기술적 이슈로 등장하고 있다. 풍력발전 시스템의 주요 모델의 THM의 추이를 정리하면 다음의 Fig. 2와 같다.

또한 대형화와 함께 풍력발전 기술이 가지는 부하의 복잡성에서 비롯되어 심각한 문제로 대두되어 왔던 증속기의 신뢰성과 관련한 문제는 시스템 해석기술의 고도화와 풍력발전 시스템 제작사, 증속기 공급자 및 전문가들의 적극적인 협력으로 해결의 실마리를 찾아가고 있다고 할 수 있다. 이와 같은 성과의 하나로 증속기를 기존의 3점 지지에서 회전자 토오크만이 증속기로 전달되고, 굽힘 모멘트는 베드로 직접 전달되도록 하는 2점 지지 형태의 배치를 채택하는 회사가 늘고 있다.

블레이드의 경우 Enercon사가 56%(Cp=0.56)의 공기역학적 효율 달성이 가능한 차세대 로터 블레이드를 소개하였는데, 이는 최근에 대부분의 블레이드에서 채택되고 있는 Cp, 0.495~0.5에 비하여 6% 정

도 상회하는 값으로 Betz의 한계인 C_{pmax} , 0.593에 도전하는 획기적인 결과로 블레이드의 공역학적 설계 분야의 새로운 이슈가 될 전망이다. 또한 해상용의 경우 소음 문제로부터 자유로워지면서 제작비 및 설치비에서 유리한 2개의 블레이드에 대한 관심도 커질 것으로 여겨지고, LM사의 경우 동일 루트 직경에서 블레이드 길이를 20% 정도 길게 제작이 가능한 SuperRoot로 명명된 새로운 설계를 선보이는 등 블레이드 루트부의 경을 늘리지 않으면서 어떻게 블레이드의 길이를 길게 제작할 것인가에 대한 연구에도 관심이 고조될 전망이다. 재질의 측면에서는 급속하게 탄소섬유(Carbon Fiber)의 적용이 늘어나는 추세이며, 특히 LM사의 경우 탄소섬유의 전기전도 특성을 활용하여 혁신적인 낙뢰보호 시스템을 개발하는 등 다양한 기술적 이슈가 등장할 전망이다. 또한 블레이드의 제작과 관련하여 진공수지 주입공법의 적용이 증가될 전망이고, Bonus사의 경우 한 개의 몰드로 이음매 없는 블레이드를 일괄 제작하는 One-shot 기술을 개발하는 등 제조 공정의 합리화와 관련한 현실적인 기술도 이슈가 될 전망이다.

발전기의 경우에도 해상용의 경우 육상용에서 주류를 이루고 있는 이중여자 유도발전기, 25~30% 전력변환기에 대하여 농형 유도발전기 또는 영구자석 발전기, 100% 전력 변환기의 기술 조합간의 유효성 경쟁이 이슈가 될 전망이다.

2.4 국내의 기술개발 동향

국내의 풍력발전 관련 기술개발은 1996년 까지를 1, 2단계, 1997~2001년을 3단계, 2002~2006년을 3단계로 나누어 설명하고 있다. 1, 2단계에 해당하는 기술개발은 주로 기술개발 가능성을 확인한 단계로 1970년대 및 80년대의 2~5 kW급 소형 풍력발전기의 국산화 개발 및 실증시험을 시작으로 1982~1991년도 제주도 월령에 한독기술 협력에 의한 풍력-태양광 복합발전 시스템 시험운전 및 풍력발전소 운영을 통하여 기술개발에 대한 가능성 및 필요성에 대한 인식이 고조되었고, 1987년 12월에 제정된 「대체에너지 기술개발 촉진법」을 근거로 1988에 대체에너지 기술개발 기본계획이 수립되면서 풍력발전 분야의 기술개발 투자가 본격적으로 시작되었다. 「대체에너지 기술개발 촉진법」에 근거한 정부의 지원으로 1995년도에 KIST에 의한 계통연계형 20 kW 소형

풍력발전기 국산화 시험운전, 1992~1996년 50~300 kW 수직형 풍력기기를 한국 화이바에서 개발하여 전남 무안에서 시운전하였고, 1995년에 제주 월령에 180 kW 규모의 신재생에너지 시범단지인 한국 에너지기술연구소에서 조성하여 대체에너지기술의 실증시험 및 교육홍보의 기지로 활용되고 있고, 풍력발전의 도입을 위하여 가장 중요한 기초 자료인 풍력자원 실측, 분석 및 D/B화와 관련한 기술개발도 1996년도부터 본격적으로 진행되어 오고 있다.

1997년도부터의 3단계 연구개발 성과는 수직형 풍력발전기의 국산화를 기반으로 1997년도 제주 마라도에 50 kW 수직형 풍력기기를 이용한 낙도 시험운전, 1997년도에 제주 월령을 기반으로 하여 풍력발전시스템의 운영을 통한 풍력 발전 시스템 성능측정 및 신뢰성 분석의 기초기술, 1998년도부터 보다 정밀한 국내 풍력자원의 분석 및 측정기술, 1997년도부터는 기존 80 kW 및 180 kW 수직형 풍력발전기의 국산화 기술개발 성과를 기초로 하여 중대형급 750 kW급 수평형 풍력발전 구성기기의 국산화(회전자 중심)가 한국 화이바의 주관하에 진행되어 2002년에 개발이 완료된 바 있다. 또 2000년부터 각 산업체의 연구개발 참여가 활성화되어 (주)효성의 주관하에 660 kW급 풍력발전기용 증속기 및 발전기의 개발이 진행되어 2001년에 개발이 완료되었고, 전기연구소에서 직접구동용 풍력발전시스템의 제어 및 계통연계 장치의 개발을 2002년에 완료하였으나 상용화 수준에 이르지 못하는 못하였다. 2005년 4월 기술개발 완료목표로 2002년 12월부터 (주)효성이 750 kW급 기어형 풍력발전시스템 개발, 유니슨이 750 kW급 직접 구동형 풍력발전 시스템 개발을 진행 중에 있고, 2003년 7월부터 코원텍에서는 1 MW급 Dual Rotor형 풍력발전 시스템의 국산화를 진행 중이며, 2006년 6월에 완료할 예정으로 진행되고 있다. 또 프랑스의 Jeumont사로 부터 수입된 직접 구동형 750 kW급 중형 풍력발전 시스템, kW급의 소형 풍력발전시스템의 실증연구 등이 진행된 바 있다. 또한 2004년부터 (주)효성 및 유니슨에서 각각 2 MW급 풍력발전 시스템의 개발을 진행 중에 있다.

이상의 국내 풍력기술의 연구개발 성과를 요약하여 정리하면 750 kW급 풍력발전시스템의 개발 및 실증이 준비 단계에 있고, 5~10 kW급의 도서용 소형 풍력발전시스템은 자체 제작기술은 확보되어 있으나 시장이 작아서 상업화에는 이르지 못하였다고 할 수 있

고, 국내 풍력자원의 특성 및 분포에 대한 연구는 꾸준히 진행되어 정밀도 향상 중에 있으며, 계통 연계형 풍력발전시스템 성능시험 및 복합발전시스템 설계, 운용 기술은 확보 단계라고 할 수 있다.

전술한 바와 같이 다양한 기술개발이 시도되었으나 기술과 시장 요건의 괴리에 의하여 상용화 수준에 이르지 못하는 문제를 해결하고자 정부에서는 2001년 10월에 「풍력성능평가 센터」를 지정하여 소형풍력발전기, 구성기기 및 계통연계 기술에 대한 신뢰성 평가 및 표준화를 추진함과 동시에 「풍력실증연구단지」 조성하여 소형풍력발전기는 시스템 구성, 운전기법, 성능유지, A/S방법 등의 실시로 보급에 연계되도록 추진하고, 중대형 풍력발전기는 우선적으로 외국제품의 실증을 통한 엔지니어링기술 및 단지운영기술을 확보하여 국산화된 기술에 대한 운전 신뢰성 확보를 목표로 하는 등 실용화 보급 기반의 구축에 박차를 가하고 있음은 물론 Green Village 사업과 연계하여 국산화된 기술의 보급 활성화를 위한 노력을 기울이고 있다. 2002년 12월에 확정된 「제 2차 국가 에너지 기본계획」에 의하여 2006년 3%, 2011년 6%의 대체에너지 공급 목표가 설정되면서 정부는 「풍력», 「태양광», 「연료전지」를 3대 중점과제로 집중 지원하고 있어 가까운 장래에 유효한 기술개발 성과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

따라서 현재 진행되고 있는 기술개발사업의 진행 현황을 기준으로 할 때 소형의 경우에는 용량에 따라서 차이가 있으나 국산화된 기술을 시장에 진입할 수 있는 수준이고, 750 kW급의 경우 2006년 또는 2007년에 국산화된 기술이 국내 시장에 진출할 것으로 전망되고 있다.

3. 국내외 시장 현황

3.1 국외의 풍력발전 시장 현황 및 전망

풍력발전의 도입은 그림 3에 나타나 있는 바와 같이 90년대부터 증가하기 시작하여 '95년에 연간 1,000 MW, '99년에 연간 4,000 MW, 2002년에는 연간 7,000 MW, 2003년에는 연간 8,000 MW 이상이 설치되는 등 급격히 성장되어 2004년 3월 현재 누계 40,301 MW가 설치되어 있다. 대륙별로는 유럽이 세계의 누계 설치용량의 66.5%인 29,301 MW를, 미국이 21.8%인 6,905 MW를 차지하여 풍

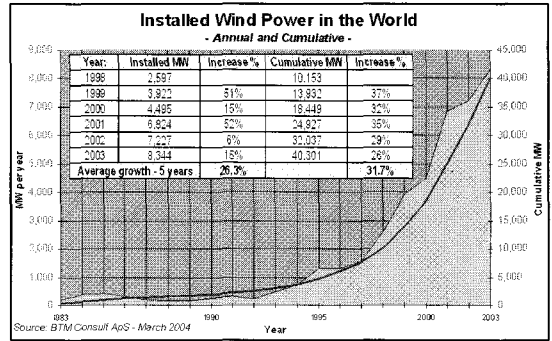


Fig. 3 세계의 풍력발전 설치 현황

Table 2 풍력발전 선두 10개국의 도입 현황

Country	2001	2002	2003	Share %	Cum. Share %
Germany	8,734	11,968	14,612	36.3%	36%
Spain	3,550	5,043	6,420	15.9%	52%
USA	4,245	4,674	6,361	15.8%	68%
Denmark	2,456	2,880	3,076	7.6%	76%
India	1,456	1,702	2,125	5.3%	81%
Netherlands	523	727	938	2.3%	83%
Italy	700	806	922	2.3%	85%
Japan	357	486	761	1.9%	87%
UK	525	570	759	1.9%	89%
P.R. China	406	473	571	1.4%	91%
Total	22,952	29,329	36,545		
Percent of World	92.1%	91.5%	90.7%		

Source: BTM Consult ApS - March 2004

력발전 시장을 주도하고 있다.

국가별로는 Table 2에 나타나 있는 바와 같이 2004년 3월 현재 독일이 36.3%인 14,612 MW, 스페인이 15.9%인 6,420MW, 미국이 15.8%인 6,361 MW, 덴마크가 7.6%인 3,076 MW, 인도가 5.3%인 2,125 MW로 5개국이 전체의 81%를 점하고 있고, 선두 10개국이 누계로 91%를 차지하는 등 몇 개의 국가가 풍력발전 시장을 주도하고 있음을 알 수 있다. 최근의 WWEA의 발표에 의하면 2004년에 8,321 MW가 신규 도입되어 누계로 47,616 MW에 이르고 있으며, 신규설비 도입의 주도자는 2,061 MW를 건설한 스페인으로 처음으로 독일(2,020 MW 건설)을 제치고 1위 자리를 차지하였다고 한다.

풍력발전에서 제작사 동향을 알아보기 위하여 '98년 이후 선두 10개 업체 현황을 정리하면 다음과 같다. 2004년 3월 말 기준 선두 10개사의 현황, 시장 점유율 등을 정리하면 다음의 table 3과 같다.

Table 3에 나타나 있는 바와 같이 선두 10개 업체에는 덴마크, 독일, 스페인 업체가 시장을 선도하여 왔음을 알 수 있으며, 2004년 3월 현재 '98년 이후

Table 3 풍력발전 선두 10개사 현황

구분	1998	1999	2000	2001	2002	2003
선두 10개사	NEG-Micon(DK) Vestas(DK) Enron/Zand(US) Enercon(GE) Gamesa(ES) Bonus(DK) Nordex(DK) Mads(IE) Windor H(DK) Tacke(GE)	NEG-Micon(DK) Vestas(DK) Gamesa(ES) Enercon(GE) Enron(US) Bonus(DK) Nordex(DK) Mads(IE) Windor H(DK)	Vestas(DK) Gamesa(ES) Enercon(GE) NEG-Micon(DK) Bonus(DK) Nordex(IE/DK) Enron(US) Ecoconin(ES) Suzlon(IND) Siemens(IE)	Vestas(DK) Enercon(GE) NEG-Micon(DK) Gamesa(ES) Bonus(DK) Nordex(IE) Mads(IE) Hitachi(JP) Powers(IE) Ecoconin(ES)	Vestas(DK) Enercon(GE) NEG-Micon(DK) Gamesa(ES) GE Wind(US) Bonus(DK) Nordex(IE) Mads(IE) Powers(IE) Ecoconin(ES)	Vestas(DK) GE Wind(US) Enercon(GE) Gamesa(ES) NEG-Micon(DK) Bonus(DK) Powers(IE) Nordex(IE) Hitachi(JP) Suzlon(IND)
설치용량	2,587(MW년)	3,322(MW년)	4,495(MW년)	6,824(MW년)	7,227(MW년)	8,344(MW년)
점유율(%) (전도용량)	91.4(98)	92.6(99.3)	91.0(99.4)	93.7(94.3)	95.0(95.5)	96.8(98)
국가별	덴마크: 5 독일: 2 스페인: 2 미국: 1	덴마크: 4 독일: 2 스페인: 3 미국: 1	덴마크: 3 독일: 3 스페인: 2 미국: 1 인도: 1	덴마크: 3 독일: 3 스페인: 2 미국: 1 인도: 1	덴마크: 3 독일: 3 스페인: 3 미국: 1 인도: 1	덴마크: 3 독일: 3 스페인: 1 미국: 1 인도: 1
국가별 제작용량 합계 (MW)	덴마크: 46.6 독일: 16.0 미국: 13.5 스페인: 13.4 기타: 5.5	덴마크: 52.4 독일: 14.0 스페인: 29.9 미국: 9.2 기타: 6.5	덴마크: 51.1 독일: 15.8 스페인: 17.8 미국: 6.0 기타: 10.3	덴마크: 45.6 독일: 23.8 스페인: 13.1 미국: 12.7 기타: 8.8	덴마크: 43.5 독일: 29.6 스페인: 16.9 미국: 9.8 기타: 5.1	덴마크: 38.5 독일: 21.0 스페인: 16.0 미국: 16.0 기타: 7.5

선두 10개사 내에 존속하고 있는 회사는 Vestas, NEG-Micon, Enercon, Gamesa, Bonus, Nordex와 Tacke가 Enron을 거쳐 GE Wind라는 이름으로 존속되고 있어 총 7개로 남아 있는 것으로 나타나 있으나 2003년 NEG-Micon이 Vestas사에 합병되어 실제로는 6개사가 남아 있는 실정이다. 또 선두 10개사의 시장 점유율은 '98년의 91.4%에서 2003년에는 96.8%로 지속적으로 증가하여 왔음에 미루어 풍력발전 시장에 새롭게 진입하는 것이 상당히 어려움을 알 수 있다. 국가별 제작 용량의 추이에서 덴마크의 시장 지배력은 점점 줄고 있고, 독일은 증가, 미국 및 스페인은 상황에 따라 변화하여 왔음을 알 수 있다. 이는 국내 시장의 규모, 제작사의 수 및 경영 현황 등에 기인하는 것으로 여겨진다.

특히 덴마크는 2000년부터 점유율이 감소하고, 독일은 반대로 증가하고 있는데, 이는 덴마크의 경우 국내 시장이 거의 포화되어 해외 시장에 의존하는 반면에 독일의 경우에는 국내시장이 지속적으로 증가하는 시장의 속성이 반영된 결과라고 할 수 있다. 특히 2003년에 NEG-Micon이 Vestas사에 합병되고, 독일의 Siemens사가 Bonus사를 인수하면서 풍력발전 시장에서 독일의 시장 지배력은 더욱 증가할 전망이다. 그리고 Vestas사가 NEG-Micon사를 흡수 합병하고, 스페인의 Gamesa사가 스페인의 MADE사를 인수하여 기술력을 보강하여 수출에 주력하고 있고, 대형 발전 엔지니어링사인 GE 및 Siemens사가 풍력발전 시장에 합류하면서 풍력발전 시장은 현재까지의 추세와는 다른 새로운 국면을 맞을 전망이다. 그리고 많은 전문가들이 Vestas사가 NEG-Micon사를 합병하였음에도 불구하고 세계 시장 지배

력은 약화될 것이며, 미국의 GE, 독일의 Siemens 및 스페인의 Gamesa와 같은 신진업체들이 약진할 것이라는 전망에는 동의를 하고 있는 것으로 판단된다.

이와 같은 징후는 2004년도의 시장 점유율의 추이에서 일부 나타나고 있다고 할 수 있는 데, 2003년에는 단지 10개 국가 만이 100 MW 이상의 신규 설비를 설치하였으나 2004년에는 19개 국가에서 100 MW 이상의 설비를 건설하였다고 한다. 또 선두 5개 국가의 점유율로 37.7 GW로 시장 지배력은 여전히 크지만 점유 비율은 2004년에 약 3% 이상 낮아지고 있어서 풍력 발전의 산업 기반이 범세계적으로 넓어지고 있음을 확인할 수 있다. 또한 최근에 관심은 고조되고 있으나 육상용과는 다른 새로운 학습이 필요할 것으로 판단되는 해상용 풍력발전의 도입 현황은 다음의 table 4와 같다. table 4에 의하면 2004년 3월 현재 291기, 529.8 MW의 해상용 풍력발전이 도입되어 운전되고 있음을 알 수 있다.

Figs. 4와 5에 세계 풍력발전 시장의 규모 및 도입 추이를 나타내었다. 그림 4 및 그림 5에서 알 수 있는 바와 같이 향후에도 육상용이 여전히 시장을 주도하고, 해상용은 2007년 이후 주목을 받을 정도의 시장이 형성될 것으로 전망하고 있음을 알 수 있다. 시장 규모는 2003년의 연간 9,000백만\$에서 2007년에는 약 15,000백만\$에 근접할 것으로 전망하고 있으며, 용량으로는 2008년에 14,000 MW, 2013년에 24,500 MW 이상이 될 것으로 전망하고 있음을 알 수 있다.

3.2 국내외 풍력발전 도입 현황 및 전망

풍력발전은 1998년 및 1999년에 제주도가 정부의 지역에너지 사업의 일환으로 덴마크 Vestas사의 600 kW 및 660 kW 풍력발전시스템 5기를 설치하

Table 4 세계의 해상용 풍력발전 도입 현황 (2003년 말 현재)

Country	WTG's	MW	Type foundations	Construction
Vindby (DK)	11 x 450 kW, Bonus	4.95	Concrete caisson	1991
Lely (NL)	4 x 500 kW, NedWind	2.0	Driven monopile	1994
Tuna Knib (DK)	10 x 500 kW, Vestas	5.0	Concrete caisson	1995
Dronen Isselmeer (NL)	28 x 600 kW, Nordtank	16.8	Driven Monopile	1996
Rockstgen (S)	5 x 550 kW, Wind World	2.75	Drilled Monopile	1997
Utundnen (S)	7 x 1.5 kW, ENRON	10.5	Driven Monopile	2000
Blyth (UK)	2 x 2 MW, Vestas	4.0	Drilled Monopile	2000
Middelgrunden (DK)	20 x 2 MW, Bonus	40.0	Driven Monopile	2000
Yttre Stengrund (S)	5 x 2 MW, NEG Micon	10.0	Drilled Monopile	2001
Horns Rev (DK)	80 x 2 MW, Vestas	160.0	Driven Monopile	2002
Palladan Flak (DK)	10 x 2.3 MW, Bonus	23.0	Driven Monopile	2002
Nystad Havmøllepark (DK)	72 x 2.3 MW, Bonus	165.6	Concrete caisson	2003
Ardow Bank Phase 1 (IRL)	7 x 3.6 MW, GE Wind	25.2	Driven monopile	2003
North Hoyle (UK)	30 x 2 MW, Vestas	60.0	Driven Monopile	2003
Total	(Number of WTG's: 291)	529.8 MW		

Source: ERM Consult ApS - March 2004

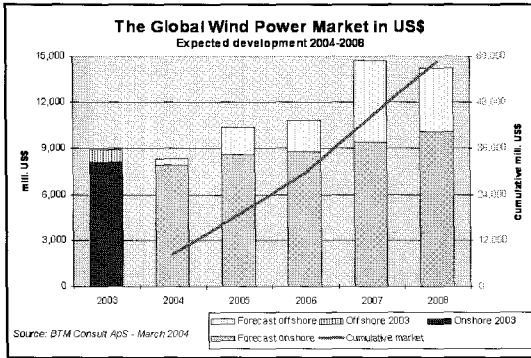


Fig. 4 세계 풍력발전 예상 시장 규모

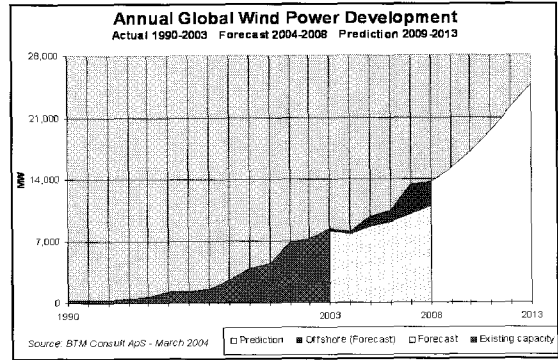


Fig. 5 세계의 연간 풍력발전 도입 전망

여 풍력발전 가능성을 확인함으로써 도입 활성화의 계기를 마련하였다고 할 수 있다. 현재 국내에 운영되고 있는 5 MW 이상 풍력발전 단지는 제주도가 운영 중인 제주 행원의 9,795 kW, 남부발전이 운영 중인 제주 한정의 6 MW 및 유니슨(주) 영덕의 39,600 kW가 있다. 이외에 지역에너지 사업의 일환으로 경상북도, 전라북도, 강원도, 태백시 등이 풍력발전기를 도입하여 운전하고 있거나 설치 중에 있고, 발전자회사를 포함한 여러 회사들이 도입을 검토하고 있다.

국내에 도입된 풍력발전 시스템의 현황은 공사 또는 발주 완료된 용량을 포함하면 2005년 3월 현재 54기, 76,045 kW로 추정된다. 현재 가동 중인 최대 발전 단지는 유니슨(주)가 운영 중인 총 용량 39,600 kW(1,650 kW, 24기)인 영덕 풍력발전 단지이고, 가동 중인 최대 단위기 용량은 남부발전이 운영 중인 한정의 1,500 kW, 발주 중인 최대 단위기 용량은 (주)코에지가 발주한 2,000kW급 풍력발전기이다. 이들 풍력발전기 도입과 관련하여 용량 및 대수를 기준으로 점유율을 나타내어 보면 다음의 Fig. 6과 같다. Fig. 6에서 알 수 있는 바와 같이 제작사인 Vestas사 및 Gamesa사가 직접 공급한 부분을 제외하면 용량으로는 STX와 (주)효성이 각각 19%를 점유하고 있고, 대수로는 STX가 23%, (주)효성이 33%를 점유하고 있음을 알 수 있다. 이는 국내 도입된 풍력발전 시스템의 단위기 당의 용량 차이에서 비롯되었다고 할 수 있다.

또한 정부는 2012년까지 발전시설 용량의 3%인 2,250 MW의 보급을 목표로 기술개발 및 보급 정책을 지원하고 있으며, 이의 성공적인 달성을 위하여 풍력발전 시스템의 국산화를 통한 대형화 및 설비비 절감이 반드시 필요할 것으로 판단된다.

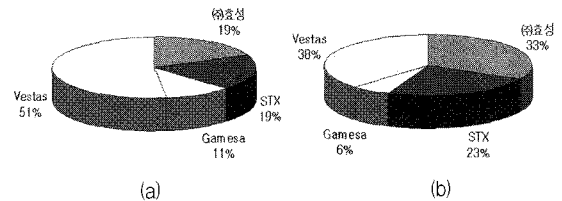


Fig. 6 국내 풍력발전 시스템의 업체별 공급 현황 : (a) 용량 기준과 (b) 대수 기준

4. 결론

본 고에서 풍력발전 기술 및 시장 현황, 전망에 대하여 정리하였으며, 주요 내용을 요약하면 다음과 같다. 모든 산업분야에서 마찬가지로 풍력발전 기술도 시장에서의 학습을 통하여 육상용의 경우, 주력 기종은 2MW 내외로 용량이며, 기술조합은 가변속, 피치 제어의 Gear Drive와 Direct Drive가 경쟁하고 있으나, Gear Drive 기술이 세계 시장의 80% 이상을 점유하고 있어 시장 지배력이 높다고 할 수 있다. 또 해상용의 경우 주력 기종은 일정 기간 동안 3 MW급이 될 전망이다. 운전자회사의 변화로 새로운 학습이 필요할 것으로 판단에 따라서 새로운 기술적 이슈가 등장하고 있어 시장에서 수용되는 표준 기술의 조합은 육상용과 상당부분 달라질 가능성이 있는 것으로 판단된다. 또 풍력발전의 경우 선두 5개국 및 5개사의 시장 지배력이 높아져 신규 사업자들은 시장 진입에 상당한 어려움에 직면하고 있다.

시장은 독일, 덴마크, 스페인 등 3~4개의 국가가 선도하여 왔고, 기술적으로는 덴마크의 풍력발전 기술의 시장 지배력이 강하고 독일 기술이 약진하는 양상을 보여 왔으나 Gamesa, GE, Siemens 등 새로운

장자의 시장 진입으로 풍력발전 기술의 산업 기반이 세계화를 가속할 것으로 예상되며, 향후 풍력발전 시장의 판도가 급변할 것으로 판단된다.

국내의 경우 장기간에 걸친 기술개발에도 불구하고 기술개발 및 보급 정책간의 괴리로 상용화 수준에는 미치지 못하나, 정부는 2012년까지 발전시설 용량의 3%인 2,250 MW를 보급한다는 도전적인 목표를 세우고 기술개발 및 보급을 추진하고 있어 가까운 장래에 유효한 성과를 얻을 것으로 기대한다. 그리고 이와 같은 정부 목표 달성을 위한 유효한 수단 중의 하나가 시장에서 국산화된 기술의 확보 및 이의 산업화를 위한 유효한 제도 설계 및 시행이라고 할 수 있다.

참고문헌

- (1) 오시덕, "풍력발전 기술동향", (주)효성 사내보고서
- (2) BTM Consults, 2003, International Wind Energy Development - World Market Update.
- (3) 에너지관리공단 신·재생에너지센터, 2005, 신·재생에너지 NewsLetter.
- (4) Eize de Vries, 2004, "Global Wind Technology : Overview of developments 2003-2004", Renewable Energy World.
- (5) Eize de Vries, 2004, "Multibrid - A new offshore wind turbine contender", Renewable Energy World, pp. 52~64.
- (6) Eize de Vries, 2004., "Offshore boost for Bonus", Renewable Energy World, pp. 84~91.
- (7) Eize de Vries, 2004, "Moving on up - The 5M prototype is installed", Renewable Energy World, pp. 94~103.
- (8) Eize de Vries, 2005, "EWEC 2004-the European Wind Energy Conference & Exhibition", Renewable Energy World, pp. 42~55.
- (9) Eize de Vries, 2005, "The Wind forecast, An interview with Andrew Garrad", Renewable Energy World, pp. 115~117.