

중국 풍력발전의 현황과 확대 전망

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 나덕주
(djra15@reseat.re.kr)

1. 서언

- 풍력발전은 여러 가지 신재생 에너지 가운데 기술적 성숙도, 저 가격 및 무공해 특성 덕분에 향후 가장 유망한 에너지이다. 지난 10년 동안 세계 풍력에너지 누적 설치 용량은 매년 19% 성장하여 2012년 말 282.5GW를 달성하였다.
- 중국은 육상이 약 1400GW, 해상이 약 600GW의 풍력에너지 자원을 가지고 있다. 중국의 풍력발전 용량은 2009년에서 2012년까지 약 3배 성장하여 전 세계 용량의 27%에 해당하는 약 75.32GW를 달성하고, 현재 8개의 10GW 규모의 풍력단지를 계획하고 순차적으로 건설하고 있다.
- 약 10년 전만해도 중국의 풍력에너지 설비는 대부분 수입에 의존하였다. 11차 5개년계획 기간 동안 대학과 연구기관들은 풍력발전 시스템과 관련 부품의 연구개발에 집중적인 노력을 통해 중국 풍력발전 산업이 크게 성장하였다. 그 결과 중국 기업들의 국내 풍력발전설비 시장점유율이 2004년 25%에서 2009년 87%로 증가하였다.
- 반면 풍력에너지는 간헐적 특성이 있어 전력망 연결이 취약하다는 약점이 있고 정부기관 간 불협화음 때문에 남동해안에서 해상풍력발전이 크게 확산되지 못하고 있다. 본문에 송전문제를 줄일 수 있는 해상풍력발전의 개발과 전력망 연결문제를 완화시킬 수 있는 에너지 저장시스템을 소개하고, 운영관리를 위한 관련기술의 개발을 포함하여 일시적 딜레마를 해소할 수 있는 해법을 제안하고 있다.

2. 풍력자원 분포 및 풍력발전 단지

- 중국은 방대한 육지와 대단히 긴 해안선에 의해 풍력자원이 비교적 풍

부하다. 풍력 에너지 자원을 성공적으로 개발하기 위하여 중국 기상청(CMA)은 2008년에 국가개발개혁위원회, 재무부 등과 함께 국가 풍력 에너지 조사평가 프로그램(NWEDSE)을 구성하였다. NWEDSE에 의거 전국에 70m~120m 높이에 달하는 400개의 풍속계를 설치하여 국가 풍력에너지 자원을 전문적으로 관측하였다.

- CMA는 평가 대상지역의 과거 기상자료를 분류하여 각 기후 형태로부터 임의로 5%의 기후 샘플을 추출하고, 특정 날의 기상데이터에 대해 수치 시뮬레이션을 실시하여 육상은 1km 단위의 풍속과 풍향 등 풍력 에너지 자원분포도를 완성하고 해상은 예비 풍력에너지자원 평가서를 최초로 완성하였다
- 중국 국가 에너지국(NEA)은 2008년에 7개의 10GW 규모의 풍력발전 단지 조성을 기획하고, Jinqian, Hami, Hebei, 동부 내몽고, 서부 내몽고, Jilian 및 Jiangsu를 1차 후보지로 지정하고, 2010년 Shandong을 8번째 후보지로 추가 지정하였다. 이 8개의 풍력발전단지로부터 2020년에 약 138GW 용량의 풍력에너지가 공급될 것으로 예상되었다.
- 2011년말 까지 30개 지방과 도시는 9개의 2GW 용량을 포함하여 총 63GW 풍력발전 단지를 조성하였다. 그 중 내몽고 지역은 중국 풍력발전 개발을 선도하여 2012년에 누적 용량이 18.624GW에 달하였고, Hebei와 Gansu 지역은 각각 7.979GW, 6.479GW를 설치하였다. 이 기간 동안 8개의 10GW 규모 풍력발전 단지 건설이 순조롭게 진행되었다.

3. 중국 풍력발전 기술 개발 현황

- 풍력터빈은 수직 타워, 수평축에 설치된 3개의 블레이드, 기어박스, 기계 브레이크, 풍력발전기, 요 제어장치 등을 내장하고 있는 나셀로 구성되어 있고, 나셀 끝단에는 보통 풍속계, 풍향계와 같은 보조 장치가 장착되어 있다. 블레이드는 풍력에너지를 포획하여 회전하는 기계적 에너지로 변환하고, 기어박스는 블레이드와 발전기 사이에 설치되어 동력을 전달하고 블레이드 회전 속도를 증가시키는 복합적 기계부품이다.
- 발전기는 기계적 에너지를 전기적 에너지로 변환하고, 발전기와 전력망

을 연결해주는 컨버터는 발전기 속도를 조절하고, 제어 시스템은 전력망 연계 전력을 제어한다. 안전과 효율을 고려하여 이 부품들의 에너지 손실을 감소하는 연구에 집중하고 있다. 블레이드는 재료, 형상 및 코팅 등 탁월한 특성과 신뢰성을 확보하고 충분한 피로강도와 무게를 지탱하도록 밀도가 낮은 유리섬유 및 탄소섬유 재료를 주로 사용한다.

- 수평축 풍력터빈의 블레이드 날개는 주로 NACA익형을 채택하고, 풍력 손실을 줄이고 공기역학적 효율을 높이기 위하여 블레이드 형상을 최적화하여야 한다. Chongqing대학과 북서폴리텍대학이 유전자 알고리즘을 적용하여 최적화 연구에 집중하고 있고, Zhejiang 대학은 Wilson 방법을 사용하여 최적 연구를 수행하고 있다.
- 풍력발전시스템은 풍력터빈의 운전속도에 따라 정속고정주파수(CSCF) 형식과 가변속고정주파수(VSCF) 형식의 2가지로 나눈다. CSCF 풍력발전 시스템은 특정 속도에서 최적 전력 효율을 얻을 수 있고 총 전력 효율은 감소한다. 한편 VSCF 풍력발전시스템은 풍속 변동에 따라 로터속도를 조절하여 효율적으로 풍력 에너지를 획득할 수 있는 장점이 있어 현재 풍력발전시스템에는 VSCF 형식을 주로 사용한다.
- VSCF 풍력발전시스템에서는 높은 효율과 기술적 성숙도에 기인하여 영구자석 동기발전기(PMSG)와 이중여자 유도발전기(DFIG)를 주로 사용한다. PMSG는 영구자석에 의해 여기하고 완충 용량 컨버터에 의해 전력망에 연결되므로 기어박스를 줄이거나 제거할 수 있다. 한편 DFIG는 다중 컨버터에 의해 전력망에 연결하고 주파수와 전력망 연결 고정자 전류의 위상을 조절할 수 있으므로 컨버터의 체적과 비용을 감소할 수 있으나 다단 기어박스를 필요로 한다.

4. 중국 풍력발전 설비 제조 산업 현황

- 2000년 이전 중국 OEM 제조사들은 국내 시장에서 인정을 받지 못해 점유율 10% 이하를 차지하였다. 그러나 최근 국가정책과 추진력에 힘입어 풍력발전산업이 급성장하여 2009년에 Goldwind, Guodian United Power, Sinovel 등 3개 중국 OEM 생산업체가 세계 톱 10에 진입하였고 이들이 중국 국내 풍력시장의 44%를 차지하였다. 톱 10 중 해외 브

랜드는 Gamesa 및 Vestas가 각각 3.8%와 3.2%를 차지하였다.

- 중국 기업들은 최신 설계 소프트웨어를 도입하고 R&D에 투자를 증가하여 과거 면허 생산하던 방식에서 탈피하여 원천설계 및 협력설계 방식을 적용하였다. 비교적 우수한 품질과 적정 가격을 바탕으로 7개 중국 풍력기업은 해외에서 250대, 430.45MW를 수주하였으며, 2012년에는 미국에 327.75MW(46.8%)를 수출하는 등 19개국에 누적으로 407대, 700.15MW의 풍력터빈을 수출하였다.
- 풍력발전 설비의 핵심 부품인 블레이드, 발전기 및 기어박스는 국산화율이 높고, 베어링, 컨버터 및 제어시스템은 아직 외국회사에 의존하고 있다. 풍력터빈 블레이드는 70% 이상을 중국 국내에서 공급하고 있다. 예로 Zhonghang사는 65kW로부터 길이 54m의 3MW 블레이드를 공급하고, Sinoma사는 1~6MW 블레이드를 공급하는데 2013년에 GL-A인증과 DEWI-OCC 인증을 획득하였다.
- Zhuzhou사는 오랫동안 Goldwind사에 1.5MW급 영구자석 직접구동방식 풍력발전기를 공급하고, 2.5MW급 영구자석 직접구동방식 풍력발전기를 개발하였다. Lanzhou사는 중국 최대 전기기계 분야 제조사로서 0.3~3MW급 DFIG를 공급하고 있다. 2013년 Goldwind 사는 해상풍력터빈용 6MW 영구자석 발전기를 공급하고, Sinovel사는 ETL 인증을 받은 1.5 ~2.5MW DHIG 발전기를 공급하고 있다.
- 중국 기어박스 분야에서 Dalian사는 2012년에 6MW 기어박스를 개발하고 최초로 GL-A인증을 받았다. 2013년에 Chongqing사는 5MW용 2단 유성기어 기어박스를 개발하고 GL-A 인증을 획득하였다. Nanjing사는 6MW 풍력터빈 기어박스를 개발 제조 공급하고 있다.
- 컨버터 제조분야에서 Sungrow사, Shenzhen사 및 Harbin사는 MW급 풍력터빈 컨버터를 대량생산 공급하고 있다. 2010년 Daqo 및 XEMC은 2MW급 영구자석 직접구동방식 컨버터를 개발하고 인증시험을 통과하여 대전력 컨버터의 기술적 장애를 극복하였다. 제어시스템은 아직 해외업체들이 공급하고, Dongfang 등이 개발에 참여하고 있다.

5. 중국 풍력발전 개발 전망

- 중국 풍력발전은 육상풍력을 중심으로 수년 동안 급격한 성장을 통해 괄목할만한 성과를 이루었다. 그러나 육상풍력 자원은 주로 북 중국에 분포되어 있고 대량 전기 소비처는 중국의 남쪽 해안 지역에 집중되어 있기 때문에 장거리 송전은 전력망에 큰 영향을 주고 송전 비용이 증가하여 심한 경우 20% 이상의 생산 제한이 발생하기도 한다.
- 육상풍력 자원에 비해 남부 해안에 걸친 해상풍력 자원은 더욱 풍부하고, 교란이 덜 발생하여 효율이 높고 품질이 우수한 전력을 생산할 수 있다. 해상풍력발전의 개발에 있어서 가장 큰 장애요인은 관련 정부기관 간의 협력이 부족하고, 기술적으로 해상풍력터빈은 바다 염분에 의한 부식과 심한 파도에 견디어야 한다는 점이다.
- 중국 해상풍력발전은 설계, 제조, 설치, 정비 등 전 분야의 경험이 부족하여 아직 초기 단계에 있다. 중국은 2012년에 127MW 해상풍력발전을 추가하여 총 389.6MW의 발전 용량으로 영국, 덴마크에 이어 세계 3위를 유지하고 있다. 중국은 2015년에 5GW, 2020년에 30GW의 설치 용량이라는 의욕적인 목표를 세우는 등 큰 잠재력을 가지고 있다.
- 풍력발전은 간헐적이고 생산량 변동이 심하기 때문에 전력망에 직접 연결하는 것은 대단히 위험하다. 풍력발전단지의 전력 예측과 모니터링 시스템에 기반을 둔 계획운영과는 별도로 에너지저장 시스템은 에너지를 흡수하거나 방출함으로써 침투 전력부하를 피할 수 있으며 풍력발전의 품질을 개선할 수 있다.
- 전기화학적 슈퍼 커패시터, 유동 배터리, 리튬이온 배터리, 초전도 자기 에너지 저장장치에 비교하여, 플라이휠 에너지 저장장치(FESS)는 높은 전력밀도, 긴 수명, 급속 충/방전, 낮은 정비 비용, 적은 환경영향, 쉽게 측정 가능한 충전도 등과 같은 우수한 장점 덕분에 풍력발전시스템의 보조 수단으로 매우 적합하다.
- 미국 Beacon 전력은 2013년에 펜실베이니아에 20MW 프로젝트를 건설하여 에너지를 저장하였다가 필요할 때 전기를 전력망에 방출하는데

사용하게 될 것이다. 중국 청화 대학은 FESS에 관련한 연구를 수행한 결과 FESS가 가장 경제적이고 효율적으로 풍력 에너지를 사용할 수 있는 저장 수단임을 밝혀냈다.

6. 결론

- 본문은 중국 풍력발전의 현재 상황과 개발 전망에 대해 기술하였다. 첫째 중국 풍력발전은 풍부한 풍력 자원과 시장 관점에서 장래가 대단히 유망하다. 중국 풍력발전계획에 의하면 10GW 규모의 8개 풍력발전 단지를 빠른 속도로 개발하여 2012년 누적 풍력발전 용량은 75.32GW에 도달하였다.
- 정부 정책의 지원에 힘입어 대학과 연구기관들은 대형 풍력발전시스템의 개발에 박차를 가하고 있다. 본문에 설명한 바와 같이 블레이드, 발전기, 기어박스는 국산화율이 높은 반면 베어링, 컨버터, 제어장치 등은 아직 해외 업체에 의존하고 있으며, 중국 제조사들은 국내 시장점유율을 증대하는 것은 물론 해외에서도 수주를 확대하고 있다.
- 중국 동남해안을 따라 해상풍력발전시스템의 설치가 확대되고 있고, 첨두부하를 전환하고 전력망에 접속을 원활하게 하기 위해 에너지 저장 시스템(특히 FESS)의 적용을 추진하고 있다. 국내 기업의 국제경쟁력을 뒷받침하기 위해서는 독립적인 R&D 활동을 촉진시키는 것이 실제 가장 중요한 요소라고 생각한다.

출처 : Yi Feng, Heyun Lin, S.L.Ho, Jianhu Yan, Jianning Dong, Shuhua Fang, Yunkai Huang, "Overview of wind power generation in China: Status and development", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 50, 2015, pp.847~858

◁ 전문가 제언 ▷

- 지난 10년 동안 세계 풍력에너지 누적 설치 용량은 매년 19% 성장하여 2012년 말 282.5GW를 달성하였다. 중국은 육상 약 1,400GW, 해상 약 600GW에 달하는 풍부한 풍력에너지 자원을 가지고 있다. 중국은 2012년에 전 세계의 27%에 해당하는 약 75.32GW의 풍력발전 용량을 달성하고 현재 8개의 10GW 규모의 풍력단지를 건설하고 있다.
- 중국은 2009년에 Goldwind, Guodian United Power, Sinovel 등 3개 중국 OEM 생산업체가 세계 톱 10에 진입하였고 이들이 중국 국내 풍력 시장의 44%를 차지하고 있다. 풍력발전 설비의 핵심 부품인 블레이드, 발전기 및 기어박스는 국산화율이 높고, 베어링, 컨버터 및 제어시스템은 아직 외국회사에 의존하고 있다.
- 중국은 대학과 기업이 협력하여 풍력 손실을 줄이고 공기역학적 효율을 높이기 위하여 블레이드 형상을 최적화하는 연구를 수행하고, 또 풍력발전기는 영구자석에 의해 여기하고 완충 용량 컨버터로 전력망에 연결하는 영구자석 동기발전기(PMSG)와 다중 컨버터에 의해 전력망에 연결하는 이중여자 유도발전기(DFIG)를 집중 연구하고 있다.
- 중국 제조사들은 풍력발전용 핵심 부품인 블레이드, 발전기, 기어박스, 컨버터, 제어장치 등에 관한 적극적 연구개발을 통해 선도 기업을 추격하고, 국내 시장점유율을 증대하는 것은 물론 해외에서도 수주를 확대하고 있다. 중국 동남해안을 따라 해상풍력발전 시스템의 설치가 확대되고 있고, 첨두부하를 전환하고 전력망에 접속을 원활하게 하기 위해 에너지 저장시스템(특히 FESS)의 적용을 추진하고 있다.
- 우리나라도 육상풍력과 함께 2020년까지 서해에 2.5GW의 해상풍력발전단지를 건설을 추진하고 있다. 이 목표를 달성하기 위해 풍력산업지원에 관한 특별법 제정, 해상풍력 시범 프로젝트 등 국가와 지자체의 능동적인 선도로 핵심 부품의 제조, 기술 및 건설 능력이 집중 육성되어야 하고 관련 기업의 배후 산단 연계와 집적화가 이뤄져야 한다.

이 분석물은 미래창조과학부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.