

대형 풍력터빈의 핵심 과제와 대책

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

1. 서언

- 유럽위원회는 2020년까지 에너지 수요의 20%를 신재생 에너지로 대체할 목표를 세웠고, 각 회원국은 국가 신재생에너지 실행계획(NREAP: national renewable energy action plans)을 통해 실천하고 있다. 유럽 풍력 전기 발생량은 2000년 13GW로부터 2014년 129GW 까지 약 10배 만큼 증가하였다. 그 중 독일(39GW)과 스페인(23GW)이 절반을 차지하고, 영국(12GW), 이탈리아(9GW), 프랑스(8GW)가 25%를 점하고 있다.
- 풍력발전이 유럽 전체 전기수요의 약 7%를 점한다. 육상풍력은 화석연료에 의한 전력 대비 비용 측면에서 거의 동등 수준에 도달하였다. 육상과 해상풍력 발전이 2020년 목표를 달성하는데 중요한 역할을 하게 될 것이다. 현재 대부분의 터빈은 수평축 상향식으로 3개의 블레이드를 구비하고, 나셀에 부착된 로터 허브에 블레이드가 장착되어 있다.
- 대형 터빈의 채용에 힘입어 풍력발전 용량이 급격히 증가하고 있다. 터빈의 크기 즉 로터직경, 허브 높이가 커지고 있고, 1990년대 육상풍력 터빈 용량이 1MW이었는데 지금은 보통 3MW이고 향후 더 커질 전망이다. 풍력터빈의 최적화는 정격속도이하에서 공기역학 성능을 극대화시키고, 피로와 극한 하중을 견디도록 설계하는 것이다. 대형터빈은 투자대비 전기발생 비용이 낮고 풍속의 3배, 직경의 제곱에 비례한다.
- 향후 연구개발 방향은 첫째 터빈의 최대 크기를 예측하고 둘째 비용 관점에서 적절한 위치를 선정하는 것이다. 본문은 정량적 및 정성적 관점에서 이 두 가지 문제를 탐구하고, 또 과제가 미치는 영향에 대해 조사하였다. 육상용 대형 터빈은 3MW를 기준으로 정하고, 더 큰 풍력터빈에 관한 미래 도전과제와 해법을 비교하고 정량적으로 분석하였다.

2. 대형풍력터빈 과제의 분석방법

- 핵심과제를 두 가지 방법으로 탐구하였다. 먼저 문헌조사 방법으로 도전과제와 해법을 도출하고, 다음에 독일 풍력산업의 고급 전문가를 대상으로 인터뷰를 통해 위 도전과제와 전망을 검증하고 보완하였다. 2012년에 전문가들과 전화 인터뷰를 실시하였고, 인터뷰는 개방적이고 주제에 제한을 두지 않고 자유롭게 응답하도록 의견을 수집하였다.
- 인터뷰 결과 초점은 유럽 육상 풍력에너지에 집중되었다. 그러나 육상과 해상 풍력에너지는 상호 많은 유사성이 있기 때문에 본문에 검토한 내용은 해상풍력 에너지에 적용해도 무리가 없다고 판단된다. 본 조사는 바람의 측정과 예측, 로터 블레이드, 구동 계통, 타워, 전력망 접속 및 진단, 사회 경제적 관점 등을 포함하였다.

3. 대형 풍력터빈 주요부품의 핵심과제 및 해법

- 전력망 운영자 및 연구자들에게 수 시간에서 수일간의 복잡한 풍력발전을 예측할 수 있도록 지난 수 십 년 동안 바람의 과학적 예측 방법을 적용하였다. 바람 예측에는 수치적 기후모델(NWP: numerical weather model)의 입력을 사용하여 더 우수한 성과를 도출할 수 있는 물리적 및 통계적 방법을 포함한 다양한 접근방법이 있다. RMSE (root mean squared error) 오류 방법이 1일 전 예측의 경우 5% 이하로 가장 정확한 것으로 알려져 있다.
- 예측정밀도는 지형에 따라 달라지는데 복잡한 지형에서는 검토 대상지역을 확장하여 포트폴리오 효과를 감안하면 예측정밀도를 높일 수 있다. 독일의 경우 이 방법을 적용하여 24시간 RMSE를 6.1%(2007년)에서 5.6%(2008년)까지 낮추었다. 80m 이상의 높이에서 풍속을 정확하게 측정하기 위해 일반적으로 이동식 LIDAR(light detecting and ranging) 및 SODAR(sound sonic detecting ranging) 방법을 사용한다.
- 로터 직경은 1990년대 30m 이하로부터 최근에는 100m 까지 증가하였다. 로터 블레이드는 발사목재와 탄소섬유를 포함하여 대부분 유리섬유 강화 에폭시 수지로 제조한다. 탄소섬유를 사용하면 구조 안정성을 확

보할 수 있으나, 비용이 높아지는 문제가 있다. 블레이드 길이가 60m를 초과하면 터빈 비용이 더 비싸지고, 기하학적 형상이 유사한 조건하에서 발생전력은 로터 직경의 제곱에 비례하고, 블레이드 중량은 로터 직경의 세제곱에 비례한다.

- 대형 풍력터빈 블레이드(Enercon E-126, Vestas V-164 등)는 유리섬유만으로 제조할 수 있고, 블레이드 형상은 이미 최적화가 이루어졌다. 예로 Geoblade3L은 일반적 블레이드 보다 14% 이상 더 많은 에너지를 생산한다. Flatback 로터는 공기역학적 손실을 줄여 표준 블레이드 보다 양력을 증대시키고, 또한 공기역학적 특성을 향상시킬 수 있는 새로운 형상의 블레이드 CASW-1을 개발하고 있다.
- 로터 직경의 대형화에 의한 큰 하중을 경감시키기 위해 능동적 부하제어 방식을 적용하면 블레이드 중량을 최대 40%까지 감소할 수 있다. 피치제어방법을 적용하면 20~30%의 부하를 경감시키고 이중 피치 제어방법을 적용하면 15% 부하를 추가로 줄일 수 있다. 부하 측정은 압전소자(piezoelectrics) 또는 광파이버(fiber optics)센서를 사용한다.
- 스마트 블레이드(smart blade)는 구조적 적응(structural adaptiveness) 및 기하학적 형상 적응(geometrical adaptiveness)방식에 의해 부하 조건에 자동적으로 적응할 수 있도록 제어한다. 대형 터빈 블레이드의 운송을 위해 분할방식의 블레이드를 검토하고 있으나 이 방식은 연결부의 하중부하 지지방법 등 새로운 문제를 해결할 필요가 있다.
- 높이 설치되는 대형풍력 터빈은 마모에 의한 부식, 얼음과 곤충에 의한 부착물 등에 의해 공기역학적 효율이 감소되는 것이 중요한 문제이다. 이는 나노 복합재 또는 유기/무기 재료를 포함한 적절한 도장 방법을 선택하여 해소 가능할 것이다. 레이더 간섭이나 일시적 터빈의 작동중지현상 등도 앞으로 해결하여야 할 중요 과제이다.
- 풍력터빈 구동계통의 구성방법은 비동기 유도발전기(SCIG, DFIG)와 기어박스를 결합한 구동 시스템, 동기발전기(EESG, PMSG)와 기어박스를 결합한 구동시스템, 감속기 없이 영구자석 동기발전기(PMSG)를 직접 구동하는 시스템의 3가지 방식이 있다. 에너지 변환 비용과 효율

에 의거 적절한 구동계통을 선정하게 된다.

- 기어박스는 많은 정비에 의한 시스템 정지시간이 생겨 수명주기가 단축된다. 직접구동시스템은 효율과 신뢰성이 높고 또 낮은 풍속에서도 전기를 발생할 수 있지만 중량 대비 비용이 높은 단점이 있다. 직접구동풍력터빈이 2010년 세계 시장의 17%에서 2020년에는 24%까지 증가하더라도 현재 기어박스를 장착한 풍력터빈이 약 80~85%를 차지하고, 기어박스, 베어링 및 유압장치가 시스템 정지를 일으키는 요인이다.
- 제조사마다 적용하는 풍속에 따라 풍력터빈의 종류가 다르고 구동계통의 기술도 다르다. 높은 풍속 범위에서 Vestas와 Nordex는 기어터빈을 채용하고, Siemens와 Enercon은 기어리스 터빈을 제조한다. 중간 풍속 범위에서는 Enercon을 제외하고 대부분 기어 터빈을 공급한다. 현재의 풍력터빈은 기계적으로는 기어형식, 이중여자 유도전동기, 부분 정격의 컨버터 방식을 가장 보편적으로 적용한다.
- 타워의 높이도 1990년대 40m에서 지금은 100m까지 높아졌다. 타워는 주로 강철 또는 콘크리트로 제조하며, 강철제는 주로 콘 튜브 형태를 사용한다. 타워는 총 투자의 약 30%를 차지하고, 운송방법이 항상 중요한 고려사항이다. 경제적인 타워 하부 직경은 약 6m인데 운송 한계는 4.5m이기 때문에 두께를 보강하거나 콘크리트 방식을 채택하지만 이 방법도 운반 수단과 설치가 복잡해지는 문제를 안고 있다.
- 풍력터빈의 대형화를 위해 기술적 난관의 극복은 물론 사회경제적 이슈를 해소하여야 한다. 독일의 경우 100m 이상의 타워는 항공관제국의 통제를 받고, 주간에는 백색 표시등, 야간에는 적색 표시등을 부착하여야 한다. 풍력에너지 개발의 또 다른 이슈는 소음 문제이다. 그 중 공기역학적 소음은 저주파소음으로 스트레스와 두통에 영향을 미치므로 향후 집중적으로 개발하여야 할 과제로 남아 있다.

4. 결론

- 본문은 미래 대형 풍력터빈의 개발에 직면할 기술적 과제와 가능한 해결 방법을 분석 제시하고 있다. 문헌 조사와 독일 풍력산업의 최고 전

문가들을 대상으로 한 인터뷰를 통해 바람의 측정과 예측, 로터 블레이드, 구동계통, 타워, 시스템 집적 및 진단, 사회경제적 관점에 관련된 도전과제와 해결 방법을 조사하였다.

- 로터 블레이드에서 탄소섬유 적용을 확대하는 경향이 뚜렷하고, 타워는 당분간 강철이나 시멘트를 사용한다. 이 두 가지 부품은 모듈화구조가 점차 확대될 전망이다. 블레이드 길이가 60m 이상의 경우 안정성과 중량감소 덕분에 비용이 더 들지라도 탄소섬유를 사용하는 비율이 증가할 것으로 기대된다.
- 특히 대형 로터 블레이드의 경우 능동적 부하 측정이 산출 에너지를 유지하고 부하를 관리하는데 있어서 대단히 유용한 수단이다. 직경이 크면 더 넓은 속도 범위에 걸쳐 낮은 풍속에서도 정격 출력에 도달할 수 있기 때문에 낮은 풍속 터빈의 로터 직경은 발전기 정격 출력보다 더 빠르게 증대될 것이다.
- 전문가들은 향후 10~15동안 대형 풍력터빈의 출력은 3~10MW, 타워 높이는 120~200m, 로터 직경을 120~180m를 제안한다. 풍속이 높은 지역에서는 정격출력이 크고 로터 직경이 작은 터빈을 설계하고, 풍속이 낮은 지역에서는 정격 출력이 작고 로터 직경이 큰 터빈을 설계한다. 또한 고객 요구에 부응한 터빈을 설계할 수 있도록 한 종류의 나셀을 서로 다른 블레이드에 사용 가능한 플랫폼 개념을 적용하고 있다.
- 미래 풍력터빈의 크기는 재료와 구조 관점에서 증대한 도전과제이다. 구동계통의 기술개발을 통해 다단 기어박스는 물론 영구자석 발전기를 가진 집적구동시스템을 채택하여 풍력터빈의 신뢰성을 향상시킬 수 있다. 향후 추가로 해결하여야 할 과제로는 소음과 터빈에서의 거리와 관련된 사회적 수용성, 운송과 건설, 정치적 및 경제적 지원이 지속가능할 것인가 하는 문제가 있다.

출처 : R. McKenna, P. Ostman v.d. Leye, W. Fichtner, “Key challenges and prospects for large wind turbines”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 2016, pp.1212~1221

◁ 전문가 제언 ▷

- 유럽의 20-20-20 전략은 2020년까지 온실가스 배출을 1990년 대비 20% 줄이고, 1차 에너지의 20%를 신재생 에너지에서 획득하고, 에너지 수요의 20%를 절감하는 목표를 달성하는 것이다. 이를 위해 지금까지 풍력에너지를 지속적으로 활용하여 2012년에 유럽 총 전기 소비량의 7%를 차지하였고, 앞으로도 중요한 역할을 담당하게 될 것이다.
- 본문에 문헌조사 방법으로 풍력터빈의 핵심과제와 해법을 도출하고, 다음에 독일 풍력산업의 고급전문가를 대상으로 한 인터뷰를 실시하였다. 인터뷰 결과는 해상풍력 에너지에 적용해도 무리가 없다. 본 조사는 바람의 측정과 예측, 로터 블레이드, 구동 계통, 타워, 전력망 접속 및 진단, 사회 경제적 관점 등을 포함하였다.
- 바람의 예측은 RMSE (root mean squared error) 오류방법이 5% 이하로 가장 정확하다. 블레이드 길이가 60m를 초과하면 터빈비용이 더 비싸지고, 발생전력은 로터직경의 제곱에 비례하고, 블레이드 중량은 로터 직경의 세제곱에 비례한다. 기어박스는 많은 정비를 수반하기 때문에 시스템 정지시간이 생겨 수명 주기가 단축되고, 사회적 수용성에는 공기역학적 소음과 터빈에서 이격된 거리 문제가 있다.
- 한편 직접구동시스템은 효율과 신뢰성이 높고 또 낮은 풍속에서도 전기를 발생할 수 있지만 중량 대비 비용이 높은 단점이 있다. 직접구동 풍력터빈이 약 24%를 점하고 있으므로 기어박스를 장착한 풍력터빈이 약 80~85%를 차지한다. 기어박스, 베어링 및 유압장치가 시스템 정지를 일으키는 요인이다.
- 지난해 말 신 기후체제 출범을 골자로 한 파리협정 이후, 각국이 신재생에너지 발전사업 투자를 늘리고 있고 이에 따라 대형 해상풍력 프로젝트 추진 역시 힘을 얻고 있다. 국내 해상용 대형풍력터빈 제조사는 경영악화 때문에 잠시 중단하였지만 다시 경기가 좋아지면 재개할 가능성에 대비하여 사회적 수용성, 운반 및 건설, 풍력에너지에 대한 지속적인 정치적 및 사회적 지원 등에 대해 준비할 필요가 있다.

이 분석물은 미래창조과학부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.