

풍력 에너지의 동향과 실현가능 기술

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 신호순
(0637shin@reseat.re.kr)

1. 머리말

- 에너지 수요를 위한 석유, 석탄 및 천연 가스의 대규모 사용은 지구 온난화의 원인이 되는 CO₂와 다른 유독가스의 배출을 계속적으로 증가시켜왔다. 전 세계의 에너지 관련 CO₂ 배출은 2010년에 310억 미터톤에서 2020년에 360억 미터톤으로 2040년에는 450억 미터톤까지 상승할 것이 예상되어 다음 40년에 걸쳐 46% 이상 증가할 것이다.
- 더구나 전 세계 평균온도는 2100년까지 2~11°F 상승할 수 있다. 이는 얼음이 남·북극에서 녹는 속도를 가속할 가능성이 있고 바다의 산성과 해면을 상승시켜 결국 해안 지역 근처에 사는 수백만 명의 생명을 위협하게 할 것이다. 이들 심각한 환경 문제는 장기적으로 환경 친화적인 대체 에너지 해법을 채택하여 억제할 수 있다.

2. 풍력 기술

- 풍력 에너지 시스템의 가장 중요한 부분은 풍력 에너지를 다양한 분야에 활용할 수 있는 기계적 동력으로 변환하는 풍력터빈이다. 터빈과 그 부품의 현대적 기술 개발과 최적화는 발전된 전기 출력과 효율에서 상당한 개선을 보였다.
- 풍력터빈 설계: 최대 풍력 포착과 비용 감소가 풍력터빈 연구의 2가지 기본 과제이다. 지난 수십 년에 걸친 터빈 기술의 지속적인 연구와 발전으로 정격 용량이 엄청나게 상승하였다.
- 풍력 에너지 공급자: 2013년에 전 세계적으로 318.3GW의 풍력발전 전력이 생산되었다. GE 에너지(미국), Vestas(덴마크), Goldwind(중국),

Enercon(미국), Siemens(미국), Nordex(미국), Gamesa(스페인) 및 Suzlon(인도)이 세계에서 가장 큰 풍력 에너지 회사들이다.

3. 해상풍력 터빈의 안전 평가를 위한 표준과 연산 도구

- 해상 풍력터빈은 과도, 얼음 하중 및 과도한 풍력을 받고, 설계자는 풍력터빈의 안전을 평가해야 한다. IEC 61400-3과 DNV-OS-J101과 같은 풍력터빈 표준은 풍력터빈 설계를 위한 설계 하중 조건(DLC: Design Load Cases)을 규정한다. 풍력터빈의 안전, 신뢰성 및 성능에 관한 적합성 인증을 위한 규칙과 절차는 IEC 61400-22에 포함되어 있고, 피로, 공기 역학, 구조물, 난류(FAST: Fatigue, Aerodynamics, Structures, and Turbulence) 및 Bladed는 주어진 바람과 과도 조건 하에서 풍력터빈의 모사와 안전 평가를 위한 소프트웨어 도구이다.
- 하중 환경: 표준에 따르면 DLC를 위해 사용될 바람, 과도 및 얼음 모델은 현장 고유데이터를 사용하여 규정되어야 한다. 이들 데이터는 풍속, 유의 파고 및 얼음 두께와 같은 환경 조건을 포함한다. DLC 모델링을 위해 설계자는 설치 현장의 과거 데이터로부터 1년과 50년 기간 뿐만 아니라 50년 재발 기간 동안의 풍속, 유의 파고를 추정해야 한다.
- 가용 도구
 - 미국국립재생에너지연구소(NREL: National Renewable Energy Lab)에서 개발한 무료 프로그램인 FAST는 공공 영역의 풍력터빈 모사를 위한 선두적인 코드이다. FAST는 블레이드 루트에서의 로터 속도, 타워와 블레이드 사이의 간격, 굽힘 모멘트와 같은 풍력터빈 시간 전진 반응을 계산하여 주어진 풍력과 과도 아래 풍력터빈을 모사한다.
 - 풍력터빈의 분석에는 DNV GL의 상업용 프로그램인 Bladed를 사용할 수 있고. DNV GL의 Windfarmer를 사용하여 풍력 단지를 분석할 수 있다. Delft univ. Tech.는 풍력 에너지 코스와 같은 교육 목적을 위해 WindSim 코드를 개발했다. 풍력 터빈 공기 역학은 블레이드 요소법(BEM: Bladed Element Method)을 사용하여 모델링할 수 있다.

4. 세계적 시나리오와 통계

- 탄소 배출의 지속 가능성과 감소가 2050년까지 다루어져야 할 2가지 주요한 세계적 과제이다. 첫째 목표는 발전 분야에서 결과 되는 40%의 CO₂ 배출로서 저탄소 전력 발전을 채용하여 달성될 수 있다.
- 신재생 에너지는 2012년에 전 세계 총에너지 소비의 19% 점유율을 가졌고 풍력 에너지는 0.39%를 차지했다. 2013년에 35GW의 신규 용량이 설치되었고 총 설치된 풍력발전 용량은 318.1GW이다. 미국은 수심이 100ft보다 적은 지역의 해상풍력 에너지의 발전 가능성은 현재 미국의 전기 시스템의 총 발전 용량과 같다.

5. 풍력 에너지 시스템에서 발전된 전기의 비용과 평준화된 비용

- 현재 풍력 에너지는 전 세계 소비자들에게 경제적으로 저렴하고 깨끗한 전기를 가능하게 한다. 자본비와 변동비의 2가지 주요인이 풍력발전의 비용을 결정한다. 자본비는 터빈 비용, 부품을 설치 현장에 운반하기 위한 도로 신설, 기초 및 전력망 연결비용이다. 자본비는 총 프로젝트 비용의 75~85%가 될 수 있다. 변동비는 운영 및 유지보수비(O&M: Operation & Maintenance), 보험, 토지 임대, 세금, 관리 및 종업원 임금이다.
- 2013년의 해상풍력 발전 프로젝트의 에너지 평준화 비용(LCOE: Levelized Cost Of Energy)은 육상풍력의 US \$50~\$150/MWh에 비해 US \$136~US \$218/MWh이다. IEA(International Energy Association)에 의하면 비용은 해상풍력 발전 기술의 계속되는 연구와 대규모 투자 때문에 2050년까지 해상풍력 시스템은 45%, 육상풍력 시스템은 25%만큼 감소할 것이다.

6. 풍력 에너지 시스템과 응용

○ 풍력 단지

- 풍력발전 시스템은 풍력터빈, 발전기, 변압기 및 전력망에 연결로 구성된다. 풍력발전 시스템을 전력망과 연결할 때는 전압, 주파수, 전력 품질, 고조파 깜박거림이 발생할 수 있는 주요 문제 중 일부이다.
- 독립형 시스템은 전기 송전과 동력 분배 시스템이 효율적이 아닌 외딴 장소에 적합한 외딴 장소의 전력 공급 계획이다. 독립형 풍력발전 시스템은 집, 학교, 사무실을 위한 연속적이고 비용 효율적인 전력 공급을 위해 효율적인 수단이다.

○ 풍력 에너지 적용: 대형 발전 시스템 외에 농업용 양수기, 가로등, 풍력, 태양광 발전 및 전기 자동차 충전소 등이 있다.

○ 신재생 에너지원과 스마트 그리드의 통합: 태양광, 바이오매스, 지열 및 기타 분산된 에너지원을 풍력발전 시스템과 통합할 수 있다. 일반적으로 신재생 에너지원은 분산되어 있고 이들의 혼성화는 전기발전을 극대화할 뿐 아니라 송전 손실 감소와 전력망과 연결할 때 첨두 수요의 완화와 같은 기술적 문제를 해결할 수 있다. 또한 신재생 에너지원의 혼성화는 스마트 그리드와 통합될 수 있다.

7. 풍력 에너지를 촉진하기 위한 경제적 정책

- 지원 정책은 가격 기반과 양 기반으로 분류할 수 있다. 발전 차액 지원 제도(FIT: Feed In Tariff)는 세계에서 가장 오래 되고 가장 광범위하게 사용되는 신재생 에너지 지원 시스템이다. FIT 정책의 기초는 특정 기간 동안 신재생 에너지로 발전된 전력 가격을 보상하는 책정이다
- 신재생 에너지 의무 할당제(RPS: Renewable Portfolio Standard)는 전기 발전 회사에게 재생 에너지에 의한 전기의 지정된 양을 발전하도록 의무를 부과하는 정책 기구이다. 미국은 연방 및 주 정부의 신재생 에너지 규제에 근거해서 2030년까지 풍력으로부터 국가 전기의 20%를 획득하는 것을 추구하고 있다.

8. 풍력 에너지에 도전

- 풍력 에너지는 전력의 깨끗하고 잠재적인 원천이지만 경제적, 기술적, 사회적 및 환경적 도전을 가지고 있다.
- 경제적 도전
 - 설치된 MW 용량 당 고비용: 풍력발전 설치의 시작 단계에서 상당한 양의 투자가 요구된다. 풍력발전이 세계적으로 받아들일 수 있기 위해서는 비용기반에서 다른 에너지원과 경쟁할 수 있어야 한다.
 - 위험: 현재 시점에서 종래의 에너지원(석탄과 가스)에 의해 생산된 전기가 더 신뢰성이 있고, 어떤 장소에서는 낮은 가격으로 이용할 수 있다. 그러나 풍력발전의 가격은 꾸준히 감소하고 있다. 모든 보조금과 인센티브를 참작하여 장기적으로 고려하면 풍력발전이 더 좋은 투자 수익을 줄 것이다.
- 기술적 도전: 기술적 도전은 주로 대규모 풍력발전 시스템의 전력망에 통합과 관련이 있다. 이는 효율, 전력 품질, 신뢰성, 전력 불균형, 부하 관리 및 안전이다. 전력망 신뢰성과 안정성 문제는 풍력의 비제어와 간헐성 때문에 발생한다. 전력망이 불안정하면 이들 변동이 전압 급증을 야기할 수 있어서 송전선에 손실을 준다.

9. 맺음말

- 신재생 에너지는 증가하는 에너지수요를 만족하고 지속가능성을 개선하기 위해 촉진되어야 한다. 풍력은 높은 세계적 잠재력을 가진 청결하고, 자연적이고 풍부한 신재생 에너지이다. 에너지수요가 전 세계적으로 계속 증가하므로 풍력에너지 기반 전기발전 인프라의 배치는 현재와 미래의 에너지 부족을 극복하기 위하여 절대적으로 필요하게 되었다.
- 농촌 개발, 전력화 및 자연 자원의 보존은 대규모로 풍력 에너지를 지능적으로 이용하여 더 적절히 다룰 수 있다. 예를 들면 해상 풍력원

은 역사적으로 충분히 활용되지 않았지만, 효율과 출력 측면에서 화석 연료 발전소와 결합할 수 있다. 그러나 이 잠재력을 실현하는 것은 진보된 설치 기술과 대형 고가의 전기 송전 네트워크의 시행이 요구된다.

- 풍력 에너지와 각종 재생 가능한 에너지의 스마트 그리드로 혼성화뿐만 아니라 PHEV와 PEV의 효율적인 사용은 이들 분산 에너지원의 전력 출력, 효율성 및 신뢰성을 높일 수 있다. 그러나 풍력 에너지원이 최대한의 효과를 보기 위해서는 완전한 장기적 에너지와 개발의 모델이 요구된다. 병행해서 고급 기술 개발, 강화, 적절한 신재생 에너지 지원 시스템의 형성, 대규모 투자, 보조금 및 장기 계획이 풍력 에너지의 추가 발전을 위하여 요구된다.

출처 : Yogesh Kumar, Jordan Ringenberg, Soma Shekara Depuru, Vijay K. Devabhaktuni, Jin Woo Lee, Efstratios Nikolaidis, Brett Andersen, Abdollah Afjeh, "Wind energy: Trends and enabling technologies", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 2016, pp.209~224



◁ 전문가 제언 ▷

- 대체 에너지원의 개발은 화석 에너지원이 감소하므로 필수 요소가 되었다. 동시에 에너지 수요가 급증해서 세계적 에너지 위기의 직전에 놓여 있다. 더구나 종래의 에너지원의 광범위한 사용은 환경을 오염시키고 지구 온난화를 야기하고 있다. 이에 대해 풍력과 다른 신재생 에너지원은 실행 가능하고 깨끗한 대안이다. 낮은 운영비와 광범위한 가용성으로 풍력은 가장 이롭고 효율적인 신재생 에너지원의 하나이다.
- 이 글은 신재생 에너지원 배치 필요성의 노출과 전 세계 설치된 풍력 발전 용량뿐만 아니라 응용 및 작업 장치와 관련된 다양한 풍력 기술의 검토를 제공한다. 또한, 풍력 발전 단지의 전기 발전 비용뿐만 아니라 풍력 에너지 시스템의 설치를 옹호하는 경제 및 환경 정책에 대해 설명한다.
- 제주 전력계통에서 현재 운영 중인 풍력발전기에 의한 발전량의 최대 점유율은 5.54%이며, 풍력발전 단지의 출력 변동에 의해 제주 전력계통 운영에 심각한 영향을 주는 경우는 없었다. 그러나 향후 2년 내에 풍력발전기에 의한 발전량 최대 점유율은 20%까지 기록될 것으로 예측되어 영향을 끼칠 것으로 전망된다. 향후 제주지역에 설치될 풍력설비에 대한 지속적인 조사와 연구가 필요하다.
- 충북대학교의 황미영 등은 풍력발전 전력 생산량의 불규칙한 단점을 보완하기 위해 다계층 신경망을 이용해 예측모델을 구축하였다. Power Ramp Rate(PRR), 풍속, 풍향의 속성 모두를 사용한 예측모델 값이 풍력 터빈에서 관측된 관측 값에 가장 근접하였다. PRR 속성을 사용하여 풍력 발전량의 예측 정확도를 향상시킬 수 있다.
- 풍력과 태양광 발전 등의 신재생 에너지원의 혼성화는 전기발전을 극대화할 뿐 아니라 송전 손실 감소와 전력망과 연결할 때 첨두 수요의 완화와 같은 기술적 문제를 해결할 수 있다. 제주도에 전기자동차의 양을 확대하여 야간에 충전할 수 있도록 신재생 에너지원의 스마트 그리드와 통합이 필요하다.

이 분석물은 미래창조과학부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.