

중국 풍력발전의 조업단축에 대한 원인과 대책

한국과학기술정보연구원
전문연구위원 이홍원
(hongwlee@reseat.re.kr)

1. 머리말

- 중국 풍력발전의 신설 발전용량은 2006~2010년 4년 동안 100% 성장을 지속하였고, 2010년에는 누적설치용량이 40GW를 넘어 처음으로 세계 정상에 올라섰다. 하지만 2010년 이후 중국의 풍력발전산업은 풍력단지의 전력 공급과 수요 측면에서의 어려움을 겪고 있다. 북부, 남서부, 남동부 지역 풍력단지에서의 심각한 조업단축(curtailment) 현상이 이를 말해준다.
- 풍력발전의 조업단축은 풍력발전이 전력망과 연결되지 않고, 안전, 기술, 전력망 연결 관리, 시스템 문제 등으로 풍력터빈을 정지해야 하는 상태를 의미한다. 중국 풍력산업의 조업단축 발전량은 2010년부터 2013년까지 각각 3.9TWh, 10TWh, 20.8TWh, 16.2TWh에 달했다. 10~20%의 조업단축과 2012년 이후의 청정개발체제(CDM: Clean Development Mechanism) 프로젝트에 의한 배출가스 감축 보상가의 급락으로 중국 내 풍력단지의 연간수입은 약 30% 감소했다.
- 풍력발전의 조업단축은 풍력발전산업계의 투자의욕을 꺾을 뿐만 아니라 심각한 에너지낭비를 불러일으킨다. 본문에 중국의 풍력발전산업에 대한 특징과 조업단축 현황을 파악하고 조업단축의 원인 분석 및 대책에 대해 기술한다.

2. 중국 풍력발전산업의 발전과 운영 특징

- 중국은 12차 국가경제사회개발계획(2011~2015)에 의해 2015년까지 풍력발전을 포함한 비 화석에너지를 1차 에너지의 11.4% 달성 목표로 추진했다. 또한 이 비율을 2020년에 15%로 강화하고 단위 GDP당 CO₂

배출에서 2005년 배출량의 40~45%를 감축하는 목표를 갖고 있다. 중국의 풍력발전은 기술의 성숙도, 저비용, 대규모 개발능력 등으로 에너지 구조변혁에 있어서 둘도 없는 중요한 역할을 수행하고 있다.

- 2000~2012년 중국의 풍력발전 설치용량은 연 48.4% 성장하여 세계에서 가장 높은 성장률을 나타냈다. 2013년 새롭게 설치된 풍력발전 용량은 2012년의 신설 용량보다 3,130MW 증가한 16,089MW로 전체 누적설치 용량은 91,413MW(on-grid, off-grid 포함)에 달했다. 중국은 2013년 기준으로 1,235개사의 풍력단지개발회사 중 960개사가 국영기업으로서 대형 국영기업 중심으로 풍력발전 개발 사업이 이뤄지고 있다.
- 중국의 풍력단지는 31개의 성, 자치주에 분포되어 있으며, 풍력자원이 많은 북부, 남서부, 남동부에 설치용량의 83.4%가 집중되어 있다. 따라서 독일, 덴마크 등과는 달리 대규모 집중 방식 위주로 개발되며, 고전압·장거리 송전 방식의 특징을 지닌다. 독일, 덴마크 등은 110kV 이하의 분산·근거리 송전이 주류인데 비해 중국은 설치용량의 거의 70%가 220kV 또는 이보다 높은(최고 750kV) 고압시스템에 연결된다.

3. 중국에서 풍력발전 조업단축의 발생 및 확대

- 2010년은 중국 풍력발전에서의 중요한 전환점이다. 풍력발전 설치용량(44,733MW)에서 세계정상에 도달했던 2010년은 조업단축 발전량이 39억 4,000만kWh에 달해 조업단축이 본격화된 시기다. 이후 조업단축 발전량은 2012년에 전년의 2배인 208억kWh로 정점에 이르고 2013년부터 호전됐다. 하지만 일부 지역은 아직도 조업단축으로 어려움을 겪고 있다. 풍력발전에서 조업단축률과 설비가동률은 반비례 관계를 갖는다. 설비가동시간은 2009년 2,077h 2011년 1,920h에 이어 2012년에는 가장 심각한 수준인 1,890h에 달했다.
- 2011년에 들어 100억kWh를 상회한 조업단축 발전량은 석탄 33백만 톤에 해당한다. 간쑤(Gansu), 내몽고, 지린(Jilin), 헤이룽장(Heilongjiang)이 조업단축 발전량의 80%를 차지했다. 풍력발전산업의 급격한 성장으로 풍력터빈 품질사고가 급증하여 2011년 1~8월 사이에 전력망과 연결되지 않는 사고가 193건으로 가장 많이 발생됐다. 이 전력망 비연결

사고(grid disconnection accident)는 전력망 운영자에게 풍력발전의 안전에 우려를 갖게 했고, 이것은 분명히 풍력발전 조업단축의 중요 원인이 됐다.

- 2012년은 가장 심한 조업단축이 발생한 시기로서 조업단축 발전량 208억kWh은 100억CNY(위안화)의 직접 경제적 손실에 해당한다. 지린성은 설치용량에선 상대적으로 적지만 조업단축률은 32.23%로서 가장 높았다. 이것은 이 지역의 급속한 설치용량 증가와 함께 수요용량과 외부 전송용량의 한계에 기인한다.
- 2013년의 단축 발전량은 162억kWh로서 전년보다 감소했고 조업단축률도 10.7%로 개선됐다. 2013년 들어 중국 내의 전력부하가 다소 증가하고 수용용량도 증가됐으며, 전력망 운영자들이 화력발전의 피크수요 조정 능력을 개선하고 전력망 건설을 서둘렀던 점이 도움이 됐다. 또한 중국정부가 풍력개발 승인권의 지방정부 위양 등 풍력단지 분산과 풍력발전 프로젝트 관리에 대한 정책을 개선함으로써 풍력발전 개발과 망 건설 간의 상충이 완화될 수 있었다.
- 2014년 전반기에 중국은 전력망 용량에 있어 6.32백만kW가 신설되어 전체 용량은 전년보다 23% 늘어난 82.77백만kW에 달했고, 풍력에서는 전년 대비 8.8%가 증가된 767억kWh의 전력이 전력망과 연결됐다. 전반기 풍력발전 조업단축량은 전년 대비 35.8억kWh가 감소된 72억kWh로서 조업단축률은 8.5%로 낮아졌다. 하지만 신장(Xinjiang), 지린 지역의 가동단축률은 17.25%, 19.7%로 높은 수준에 머물고 있어 풍력발전 이용률의 개선 여지가 아직도 크다.

4. 원인

- 풍력발전 조업단축은 풍력발전의 단속성과 변동성에 기인하는 것으로 보인다. 하지만 심층 분석에 의하면 실제로는 풍력발전의 변동성에 대응하는 발전개발 계획, 전력망 관리, 인센티브 정책, 법규 및 시스템의 미흡에 기인된다.
- 풍력발전 개발과 전체 전력망 계획과의 일관성 부족이 주요 원인이 된

다. 중국은 북부, 동북, 서북 지역과 동부해안에 전체의 85%에 달하는 풍력 자원을 보유하고 있다. 이 지역 7개 단지의 풍력발전은 2020년까지 130백만kW의 개발이 계획되어 있다. 하지만 이 개발계획은 풍력 자원과 단지 건설 조건만 고려하고 전력시스템의 운전 특성과 전력망과의 심층 분석은 이뤄지지 않았다.

- 지방과 중앙의 풍력발전 개발계획의 일관성 부족이 원인이다. 대규모 풍력단지 개발계획 시 지방정부는 발전구조, 풍력발전 수요시장, 전력망 송전능력 등 전력시스템의 요소들에 충분한 고려가 이뤄질 수 없다. 또한 지방정부의 계획량은 국가 전체 계획량보다 크며 국가 계획도 자주 수정되며 계획에 대한 종합통제 체제가 되어 있지 않다.
 - 풍력발전과 전력망의 프로젝트 진척 속도에서의 차이가 고려되지 않는다. 또한 일부지역에서의 풍력발전과 다른 발전자원(화력발전)과의 연계성이 부족하고 전력수요 시장과 연계되지 않는 풍력발전 개발 계획이 수립되어 진행되기도 한다.
- 인센티브 정책에 있어서 대규모 장거리 풍력발전 송전 등에 대한 실효적 인센티브 정책이 부족하다. 전력망 회사에 대한 장려책의 결여로 첨단 풍력발전 기술 및 운전에 대한 연구자들의 연구 동기가 상실됐다. 또한 신재생에너지 발전 가격에서의 보조금 지급이 적절하게 이뤄지지 않는다.
- 불투명한 법과 규제에 있어서 2009년에 개정된 중국의 신재생에너지 법에는 불분명한 내용이 많다. 이에 인해 발전소와 망 기업 간의 권리와 책임이 모호해 망 기업이 독점적 위치에서 처벌이나 불이익 없이 풍력 발전을 구입하지 않거나 조업단축을 요구한다. 또한 신재생에너지 할당 시스템이 시행되고 있지 않으며, 풍력 개발에 있어 이해 관계자들의 책무에 대한 분명한 규제가 없다. 또한 2002년 이후 전력관리시스템의 개혁이 시작됐지만 전력공급과 전력망 개발에 대한 통합 기능은 오히려 약화된 것이 원인이 된다.

5. 중국 풍력발전 조업단축 문제 해결 전략

- 전력시스템 중 풍력발전 비율이 늘어나는 유럽에서도 전력망의 공급, 수요 균형과 안정적인 발전소 가동에 있어서 전례 없는 도전에 직면하고 있다. 따라서 선진국의 전략을 파악하여 활용할 필요가 있다. 다음과 같은 해결 전략을 들 수 있다.
- 계획과 전력망 관리 전략에 있어서, 풍력발전 개발과 전력망의 효과적인 연계를 위해 계획, 조정, 관리라는 메커니즘이 필요하다. 전력자원 프로젝트 개발과 전력망 건설 간의 조정을 위해 전력망 운영자와 지방정부 계획은 국가 계획과 부합되어야 하고 망 운영자는 보다 효과적으로 국가 계획을 실행해야 한다. 연계된 풍력자원개발, 확실한 전력망 운영, 풍력발전 배정과 관리를 통해 풍력발전이 안정적으로 이용되는 관리 메커니즘이 구축되어야 한다.
- 정책 전략에서는 선진국의 관련정책을 참조할 필요가 있으며, 에너지 개발에서의 기본 골격에는 다음 사항이 고려돼야 한다. 신재생에너지 원 발전에 대한 보조금 정책이 실행에 들어가야 하고 할당정책(quota policy)의 조기 도입과 신재생에너지 발전에 대한 배정 및 지원 정책이 개선돼야 한다.
- 기술 전략에 있어서, 각 지역 전력부하의 증대와 풍력발전 난방 시범프로젝트 수립, 동중국 내 배전센터(load center)로 풍력발전을 수송하기 위한 지역횡단 전송채널의 건설, 대규모 집중과 분산 방식의 결합 지침 등이 적용되어야 한다.

6. 맺음말

- 중국은 풍력발전 개발에서 괄목할만한 성취를 이뤘지만 2010년 이후의 조업단축이라는 부인할 수 없는 문제를 갖고 있다. 최근에 들어 호전은 되고 있지만 지린, 신장, 헤이룽장, 허베이 지역에서는 아직 심한 조업단축으로 어려움을 겪고 있다. 이는 풍력발전의 단속성, 변동성이 원인으로 보이지만 풍력발전의 변동성에 대비한 계획, 전력망 관리, 관련 정책의 미비가 근원이다.

- 따라서 풍력 조업단축 문제 해결을 위해 중국은 종합적인 개선 전략을 수용, 실행하는 것이 필요하다. 이 보고서는 이를 위한 계획, 정책, 기술 측면에서의 전략을 제시한다.

출처 : Guo-liang Luo, Yan-ling Li, Wen-jun Tang, Xiao Wei, "Wind curtailment of China's wind power operation: Evolution, causes and solutions", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 53, 2016, pp.1190~1201



◁ 전문가 제언 ▷

- 근래에 들어 전 세계의 풍력발전산업은 급속한 성장을 지속하고 있다. 특히 2006년부터 중국은 풍력발전 신설용량을 전년 대비 2배로 늘리는 급성장을 거듭했고, 이 결과 2010년에 누적설치용량이 40GW를 초과함으로써 세계 정상국가로 올라섰다. 하지만 2010년 이후 북부, 남서부, 남동부지역 풍력단지 중심으로 발생한 심각한 조업단축(curtailment)으로 어려움을 겪고 있다.
- 풍력발전단지에서 안전, 기술, 전력망 연결 관리, 시스템 문제 등으로 풍력터빈을 정지해야 하는 상태인 조업단축은 풍력발전산업계의 투자 의욕을 꺾을 뿐만 아니라 심각한 에너지낭비를 불러일으킨다. 중국의 풍력산업의 조업단축 발전량은 2010년부터 2013년까지 각각 3.9TWh, 10TWh, 20.8TWh, 16.2TWh에 달했다.
- 중국의 풍력 조업단축 해결방안으로 ① 풍력 개발과 전력망 건설의 효과적인 연계를 위한 계획·조정·관리 체계의 필요, ② 신재생에너지원 발전에 대한 보조금, 할당정책 등 신재생에너지 발전 지원 정책의 개선과 관련 법규의 보완과 명확화, ③ 지역 전력부하 증대와 풍력발전 난방 시범 프로젝트 수립, 송전용 지역횡단 전송채널의 건설 추진 등이 제시되었다.
- 독일이 2020년까지 총 전력 중 신재생에너지원 비율을 20%로 추진하는 등 세계 각국은 CO₂ 배출 감축을 위해 신재생에너지 비율 확대에 힘을 쏟고 있다. 특히 풍력발전은 경제성과 기술 성숙도에서 우수한 장점으로 2014년의 세계 누적 설치용량은 369GW를 넘어 원자력 설비용량을 상회했다. 국내도 서남해안 2.5GW 해상풍력발전단지의 건설 등 풍력발전 확대에 박차를 가하고 있다.
- 이에 따라 국내도 관련기관 중심으로 풍력단지의 조업단축 발생 가능성에 사전 대비할 필요가 있다. 즉 풍력단지 계획 수립 단계에 전력망 건설, 보조금 제도 개선 등 단지 가동에서의 필수 요소들이 함께 검토되어야 한다. 여기서 소개된 대응 방안을 참고로 활용할 수 있을 것이다.

이 분석물은 미래창조과학부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.