

중국에서 재생에너지의 축소와 방지대책

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

1. 머리말

- 수력발전, 지열, 태양광 및 해양에너지와 같은 재생에너지원은 공기 오염과 온실가스(GHG: Green House Gas) 배출을 최소화 하기 때문에 화석연료에 대한 의존을 감소할 수 있는 환경적 책임이 있는 대안으로 간주된다. 재생에너지원은 특히 발전분야에서 세계 에너지 믹스의 큰 부분이 되고 있다. IEA(국제 에너지 기구)의 2013년 세계 에너지 전망에 의하면, 2011년에 세계 재생에너지의 점유율은 20%이었고 2035년까지는 31%로 증가할 것이라고 예상했다.
- 재생에너지 발전은 그 출력이 기상 요소에 의하여 결정된다. 풍부한 재생에너지는 부하와 발전 사이의 실시간 균형을 유지하기 위해 축소되고, 전기발전은 경제적으로 대규모로 저장될 수 없다. 또한 재생에너지 발전은 장비보수, 작업장 개선 또는 고장이 났을 때 이용될 수 없다. 이 경우에 재생에너지 축소를 축소된 전기 에너지(CEE: Curtailed Electric Energy)라고 부른다.

2. 축소된 전기 에너지(CEE: Curtailed Electric Energy) 추정법

- CEE의 축소: 본문에 실시간 전력 균형에 근거한 축소된 재생에너지를 위한 추정법을 제안하였다. 이 방법은 연간 누적 설치용량, 실제 발전 및 재생에너지의 연간 이용 가능한 전력 이용시간에 근거한다. CEE는 연간 최대 발전 마이너스 연간 실제 재생 에너지 발전이다.
- 재생에너지의 누적 설치 용량: 세계 재생에너지 누적 용량은 2013년에 1560GW에 도달해서 2012년에 비해 8% 이상 증가했다. 수력발전이 약

1000GW로 4% 증가했고 풍력, 태양광이 뒤따랐다. 2013년 말까지 설치된 중국의 수력, 풍력 및 태양광은 각각 260GW, 91.46GW 및 1.3GW로 전체 재생에너지 용량의 68.8%, 24.2% 및 4.8%를 차지한다.

○ 재생에너지의 연간 발전 현황

- 2013년에 세계 수력, 풍력 및 태양광발전은 각각 3조 7820억 kWh, 6282억 kWh 및 1248억 kWh이고 총 세계 재생에너지 발전에서 차지하는 비율은 각각 75.4%, 12.5% 및 2.5%이다.
- 2013년에 중국 전력망에 통합된 풍력 발전, 태양광발전 및 수력발전은 각각 1319억 kWh, 119억 kWh 및 9116억 kWh이다. 중국의 재생에너지 발전은 근년에 급격한 성장을 하여 2013년의 총 재생에너지 발전은 2005년의 거의 3배이다.

○ 연간 가용 발전 이용 시간

- 지리적 및 기후적 조건 때문에 재생 에너지의 연간 이용 가능한 발전 이용시간은 국가마다 다르다. 대부분의 풍력, 태양광 및 수력 설비에서 완전한 전력으로 발전기를 유지할 충분한 일차 에너지가 없기 때문에 하루 24시간 완전한 용량으로 발전이 불가능하다. (1) 설계수명에서 연간 평균 발전설비 이용시간, (2) 발전기업의 이익, (3) 현존 기술조건 아래서 연간 이용할 수 있는 1차 에너지를 고려하였다.
- 풍력터빈은 120,000h 가동과 20년의 설계 경제수명으로 운영할 수 있다. 풍력터빈이 표준 1년 시간의 30%만 작동한다고 추정했다. 풍력 전력의 연간 이용가능 발전이용은 다음과 같이 결정된다.

$$h_1 = \min\left(\frac{120000h}{20} \cdot 8760h \times 30\%\right) = 2628h$$

- 광전지 패널의 도전적 경제적수명은 25년이다. 일반적으로 태양광 에너지 시스템은 하루에 약 5시간 출력을 제공할 수 있다. 그래서 태양광 전력의 연간 이용할 수 있는 발전 이용시간은 다음과 같다.

$$h_2 = \min(8760h \cdot 365 \times 5h) = 1825h$$

- 수력터빈의 기본 값은 150,000시간이고, 수력터빈의 경제적 수명은 30년이다. 수력의 용량 이용계수는 전 세계적으로 50% 이하이다. 수력의 연간 이용가능 발전 이용시간은 다음과 같다.

$$h_3 = \min\left(\frac{150000h}{30} \cdot 8760h \cdot 50\%\right) = 4380h$$

3. 세계의 CEE

- 전 세계 삭감된 풍력 에너지: 2013년 말 전 세계 풍력의 누적용량은 320GW로 연평균 13.1% 이상의 성장을 이루었다. 2013년에 전 세계 풍력발전은 6283억 kWh를 달성했고, 전 세계 삭감된 풍력 에너지는 2127.6억 kWh로 추정되었다.

$$\overline{W}_1 - W_1 = 320GW \times 2628h - 628.2 = 212.76 \text{ billion kWh}$$

- 전 세계 삭감된 태양광에너지: 2016년까지 전 세계 광전지의 시장 전망 (EPIA)에 따르면 27.70GW의 태양광전력이 2011년에 추가되어 2010년 말의 39.70GW에서 70% 성장한 67.40GW까지 될 것이다. 2013년에는 전 세계 태양광발전의 누적 설치용량과 발전이 각각 139.64GW와 1248억 kWh에 도달했다. 그러면 전 세계 삭감된 태양광 에너지는 1300.4억 kWh로 추정된다.

$$\overline{W}_2 - W_2 = 139.64GW \times 1825h - 1248 \text{ kWh} = 1300.4 \text{ billion kWh}$$

- 전 세계 삭감된 수력에너지: 2011년에 전 세계 누적 설치된 수력발전 용량은 970GW에 도달해서 2010년에 비교해서 25GW 증가했고, 2013년에는 전 세계 누적 수력 발전용량은 1000GW에 도달했다. 2013년에 전 세계 수력발전은 3조 7820억 kWh이었고 전 세계 삭감된 수력에너지는 5980억 kWh로 추정된다.

$$\overline{W}_3 - W_3 = 1000GW \times 4380h - 3782 \text{ billion kWh} = 598 \text{ billion kWh}$$

- 전 세계 CEE: 결론적으로 CEE의 총량은 꽤 놀랍다. 2013년에 삭감된 전 세계 풍력, 태양광 및 수력에너지는 9408억 kWh로 추정되었다. 2008년부터 2013년까지 삭감된 풍력에너지의 비율은 45.1%에서 33.9%로 약간 변했다. 2008년에 삭감된 태양광 에너지와 수력에너지는 각각

161.7%와 29.3%에 도달했다.

4. 중국의 CEE

- 중국의 삭감된 풍력발전 에너지: 2009년에 삭감된 풍력발전은 약 9억 1200만 kWh로 같은 해 국가 총 풍력발전의 3.3%를 차지했고 2010년에는 19억 6300만 kWh의 풍력발전이 삭감되어 연간 증가율이 115.24%이었다. 2012년에는 중국의 삭감된 풍력에너지가 200억 kWh였고, 2013년에는 162억 kWh에 도달했다.

- 중국의 축소된 태양광발전 에너지는 다음과 같다.

$$- \overline{W}_2 - W_2 = 18.3GW \times 1825h - 119억 kWh = 214억 9천 kWh$$

- 중국의 축소된 수력발전 에너지는 다음과 같다.

$$- \overline{W}_3 - W_3 = 260GW \times 4380h - 9116억 kWh = 2272억 kWh$$

- 중국의 삭감된 전력: 2013년 중국의 삭감된 풍력, 태양광 및 수력에너지는 2648억 9천 kWh로 추정되었고 그 비율은 3년 동안 점차로 증가하였다. 삭감된 태양광 발전의 비율은 비교적 높았다. 2008년에는 27.8%인 반면 2013년에는 180.7%에 달했다.

5. CEE의 가능한 이용

- CEE는 에너지 지속 가능성, 기후변화 및 경제발전에 부정적인 영향을 준다. 에너지 지속 가능성에 대해서는 재생에너지가 충분히 사용될 수 없어서 상당한 에너지낭비를 가져온다. 또한 재생에너지의 불충분한 활용은 더 많은 화석연료 소비와 더 많은 온실가스를 배출하게 된다. 경제발전에 대해 재생에너지 발전 기업들이 경제적 손실을 입을 것이다.
- 지구온난화는 인류에게 심각한 위협이 되었다. 2013년 5월에는 전 세계 평균 대기에서 CO₂ 농도는 400ppm이었고 급격히 증가하고 있다. CEE

이용은 수십억의 화석연료를 절약할 수 있고, 전 세계 CO₂와 다른 대기 오염원을 피할 수 있다. 지구온난화에 대처할 탄소 포획 및 저장 (CCS: Carbon Capture and Storage)이 급격히 발전하고 있다. CEE로 전 세계 CO₂ 포획은 약 48억 톤을 할 수 있어서 전 세계 배출물의 13.91%를 처리할 수 있다.

- 열병합발전소와 재생에너지의 병렬 운전은 비첨두 부하율과 풍력 발전 소비를 개선할 수 있고 종래의 열 시스템의 효율적 대안으로 사용될 수 있다.

6. 맺음말

- 세계 CO₂ 평균 농도는 2013년 공기 중에 400ppm의 최고치를 기록했고 역사적인 속도로 계속 증가하여 기후변화를 초래하고 있다. 재생에너지는 화석 연료에 의존을 감소하기 위하여 환경에 책임이 있는 대안을 제공할 수 있다.
- 재생에너지의 설치용량이 호황을 이루고 있지만 전력망 통합에 관한 많은 문제가 나타나서 결과적으로 에너지가 축소하고 있다. CEE의 분석은 재생에너지의 평가와 관련된 전력망 계획, 건설, 운영관리, 송전 및 CO₂ 배출 감소를 위하여 중요하다.
- 다양한 재생 발전, 특히, 풍력, 태양광 및 수력 전력의 축소는 풍력, 태양광 및 수력 전력개발이 국가를 넘어서 팽창하고 침투가 증가하고 있으므로 전 세계 공통적 문제가 되고 있다. CEE의 원인이 분석되었고, 해당 추정법이 이 글에서 제안되었다. 분석 결과는 다량의 CEE가 전 세계적으로 존재하고 중국도 예외는 아니다.
- 결과는 2013년에 효율적인 세계적 CEE 이용이 (1) 357.5백만 톤의 석탄을 절약할 수 있고, (2) 940.8백만 톤의 CO₂ 배출을 감소할 수 있고, (3) 3.48백만 톤의 SO₂ 배출, 1.72 백만 톤의 NO₂ 배출 및 0.30백만 톤의 분진을 감소할 수 있다.
- 반면, 2013년에 효율적인 중국의 CEE 이용이 (1) 86.35백만 톤의 석탄

절약, (2) 940.8백만 톤의 CO₂ 감소, (3) 1.54백만 톤의 SO₂ 배출, 0.48백만 톤의 NO₂ 배출 및 0.11백만 톤의 분진을 감소할 수 있다. 추가로 2013년에 세계 CEE와 중국의 CEE가 각각 약 48억 톤의 CO₂와 13억 5천만 톤의 CO₂를 포집할 수 있다.

- 이 연구는 재생에너지 축소를 피할 수 있는 것을 나타낸다. 만약 CEE가 감소되면 재생에너지는 화석연료 절약과 GHG 배출 감소에 더 많은 기여를 할 수 있다. 풍력, 태양광 및 수력 전력의 침투가 증가하면서 재생에너지 축소를 줄이기 위한 전략이 점점 더 중요해진다.

출처 : Canbing Li, Haiqing Shi, Yijia Cao, Jianhui Wang, Yonghong Kuang, Yi Tan, Jing Wei, "Comprehensive review of renewable energy curtailment and avoidance: A specific example in China", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 41, 2015, pp.1067~1079



◁ 전문가 제언 ▷

- 기후변화(세계 온난화)가 온실가스 안정화와 배출을 위한 혁신을 추진하고 있다. 탄소 포획, 저장 기술 및 풍력과 태양광을 포함한 재생에너지 지원이 점점 증가하고 기존 에너지 시스템에 통합되었으나, 재생에너지 발전의 출력 변동성과 불확실성 때문에 전력망 통합에 관해 많은 문제들이 나타나고 있다.
- 그래서 다량의 축소된 전기에너지(CEE: Curtailed Electric Energy)가 존재한다. 이는 재생에너지의 일부가 발전 시스템의 실시간 부하와 발전 사이의 균형을 위하여 사용되어야 함을 의미한다. 이 글에서는 CEE의 정의가 소개되었고, CEE의 주원인이 논의되었으며 중국과 전 세계의 CEE가 추정되었다. 다양한 발전 자원의 사용 우선순위를 평가하기 위하여 화석 연료 소비, GHG 배출, 공기 오염의 감소 가능성 및 CEE로 CO₂ 포집 가능성이 분석되었고 가능한 CEE 감소 전략도 제시되었다.
- 재생에너지 발전의 축소가 전력 시스템에서 관심을 증가시키고 있다. 송전 제약과 발전기 유연성 때문에 다량의 풍력발전과 태양광발전이 축소된다. 에너지 저장이 전력망 유연성과 축소를 감소하기 위해 사용될 수 있다.
- 탄소 포획과 저장(CCS: Carbon Capture and storage)은 화석연료 사용으로부터 이산화탄소를 대기에 배출하기보다 안전한 지질 저장에 이송될 수 있도록 하기 위해 개발되고 있는 기술이다. CCS의 광범위한 상업적 개발을 용이하게 하기 위해 도울 수 있는 기술 개발의 일부 핵심 기여가 CO₂ 포획 기술과 저장된 CO₂의 모니터링을 위한 개선된 기술에 대한 비용 절감을 포함할 것으로 예상된다.
- 하지만 CCS는 항상 추가 에너지가 필요해서 프로젝트 운영자는 그들의 운영에서 CO₂를 감소하는 적절한 가치를 보지 않는 한 사용하지 않을 것이다.

이 분석물은 미래창조과학부 과학기술진흥기금, 복권기금의 지원을 받아 작성하였습니다.