

재생에너지발전 출력제한 이슈 및 대응현황

KDB미래전략연구소 산업기술리서치센터
조종선 (js27@kdb.co.kr)

- ◆ 최근 재생에너지는 저탄소 에너지원으로 주목받으며 발전량이 지속 성장했지만, 국가 전력망의 안정성 유지를 위해 재생에너지 발전 출력이 제한되는 사례 발생
- ◆ 세계 각국은 전력망 안정성 보강을 위해 전력인프라를 확충하고 있으며, 우리나라도 재생에너지 보급 확대를 대비한 예측제어기술 개발 및 인프라 개선 필요

□ 국제사회는 온실가스감축목표(NDC) 달성을 위해 변동성 재생에너지(VRE)* 발전 비중을 늘려왔으나, 전력망 안정성 유지를 위한 재생에너지 출력제한 발생

* 변동성 재생에너지(Variable Renewable Energy, VRE)는 일사량풍속 등 자연조건 변화에 따라 발전량 및 출력 변동성이 큰 에너지(주로 태양광, 풍력)로 발전량 및 출력의 예측이 어려운 특성이 있음

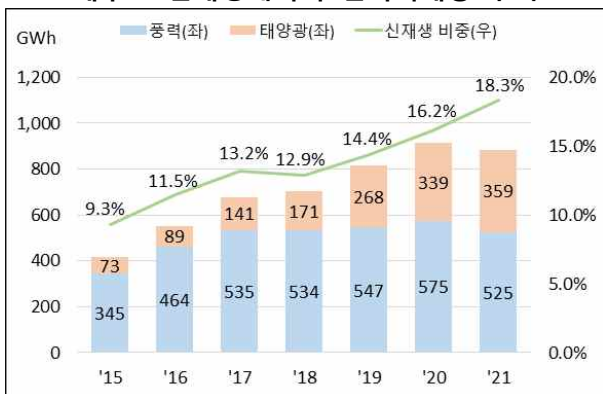
○ VRE에 의한 발전량 및 출력이 예측을 벗어날 경우, 각국은 전력망 안정성 유지를 위해 때에 따라 재생에너지 출력제한을 지시*

* 전력시장은 실시간 수요와 공급이 일치하여 일정한 품질(전력주파수)이 유지되어야 하며, 주파수가 불안정해질 경우 계통운영자(전력거래소 등)는 전력공급과 수요를 예측제어하여 안정성 확보

- 주요국의 풍력발전 출력제한율은 총 풍력발전량의 0~7% 수준이며, 국내는 신재생에너지 비중이 가장 높은 제주도* 기준 3.2% 수준

* 국내 신재생에너지 비중('20년)은 전국 평균 7.4%, 제주도 18.3%이며, 제주지역 풍력발전 출력제한은 '15년 3회(152MWh)에서 '20년 77회(19,449MWh)까지 증가

제주도 신재생에너지 전력거래량 추이



자료 : 1. 전력거래량은 전력거래소 전력통계정보시스템
2. 신재생 비중은 제주 전력계통 운영실적 참고

주요국의 풍력발전 출력제한율

국가	풍력발전량 비중	출력제한율
덴마크('19)	47.2%	3.3%
아일랜드('19)	31.2%	6.9%
독일('19)	24.2%	4.8%
스페인('19)	22.4%	0.1%
영국('19)	21.3%	2.9%
이탈리아('19)	6.3%	3.4%
미국('20)	8.3%	3.4%
제주도('20)	10.2%	3.2%

자료 : 에너지경제연구원(2022.4), "자체 연구보고서 21-02" 및 미국 에너지부(2022.8), "Land-Based Wind Market Report:2022" 참고하여 당행 재구성

□ VRE 비중이 높은 국가는 재생에너지로의 전환 기초 유지를 위해 전력망 안정성 및 유연성 강화 노력 중

- 국제에너지기구(IEA)는 VRE 비중 증가가 전력망 안정성에 미치는 영향을 6단계로 분류하고 주요 도전과제를 제시

VRE 비중에 따른 전력계통 특징 및 도전과제

구분	VRE 비중	전력계통 특징	주요 도전과제
1단계	3% 이내	VRE가 전체 계통에 미치는 영향 없음	국지적 계통영향 검토
2단계	3~15%	VRE가 계통운영에 다소 영향	계통운영 패턴 변화
3단계	15~25%	VRE가 계통운영 패턴 결정	전력공급 유연성 확보
4단계	25~50%	VRE가 수요의 100% 담당하는 시간 발생	계통관성, 신뢰도 확보
5단계	-	VRE 발전의 수요 초과분 확대	장주기 공급과잉·부족 발생
6단계	-	VRE 초과분이 달/계절 단위로 발생	계절 단위 전력저장 확보

자료 : 한전경영연구원(2022.3), "미국 주요 ISO의 재생에너지 대응전략"

- '21년 기준 덴마크와 아일랜드는 4단계이며 유럽, 미국, 일본의 일부 지역은 3단계에 진입하여 VRE가 전력계통 운영에 미치는 영향 높음
- 각국은 국가 간 연계송전망, 에너지저장시스템(ESS), 양수발전, 가스복합발전 등 유연성 자원*을 확보하여 전력망의 재생에너지 수용성 강화 노력 중
 - * 전력공급과 수요를 조절하여 변동성을 흡수할 수 있는 자원으로 공급측, 수요측, 에너지저장 및 섹터커플링, 계통운영 등 다양한 측면에서 확보 가능
- 덴마크 등 유럽 주요국은 인접국과 연계송전망을 구축하고 초과·과소 생산되는 재생에너지 전력을 수출입*하여 전력망 운영의 유연성 확보
 - * 덴마크의 '21년 태양광·풍력 비중은 54.5%이며, 총 전력공급량 36.7TWh = 국내생산량 31.9TWh + 수입량 20.1TWh - 수출량 15.3TWh로 구성(교역국 : 스웨덴, 노르웨이, 독일 등)
- 미국, 영국, 독일, 호주 등은 ESS 및 양수발전을 활용해 전력망 변동성 완화 중
- 미국 내 지역별 계통운영자들은 유연성 자원 도입 외에도 전력시장 제도개선을 통해 재생에너지 변동성 확대에 대응

미국 계통운영자별 재생에너지 대응 현황

계통운영자	신재생설비 비중	주요 내용
미 중서부(MISO)	18%('20)	신뢰도 확보를 위한 시장 체계화, 장기 송전계획 등
텍사스(ERCOT)	34.5%('21)	VRE 출력 예측기술 개발 및 속응성 예비력 도입
캘리포니아(CAISO)	24.9%('20)	재생에너지 초과 발전량의 지역 간 거래 확대

주 : 속응성 예비력(Fast Frequency Response)은 VRE에 의한 발전 출력 하락 시 정상 출력으로 긴급히 되돌리기 위해 동원하는 자원(Ex. ESS)

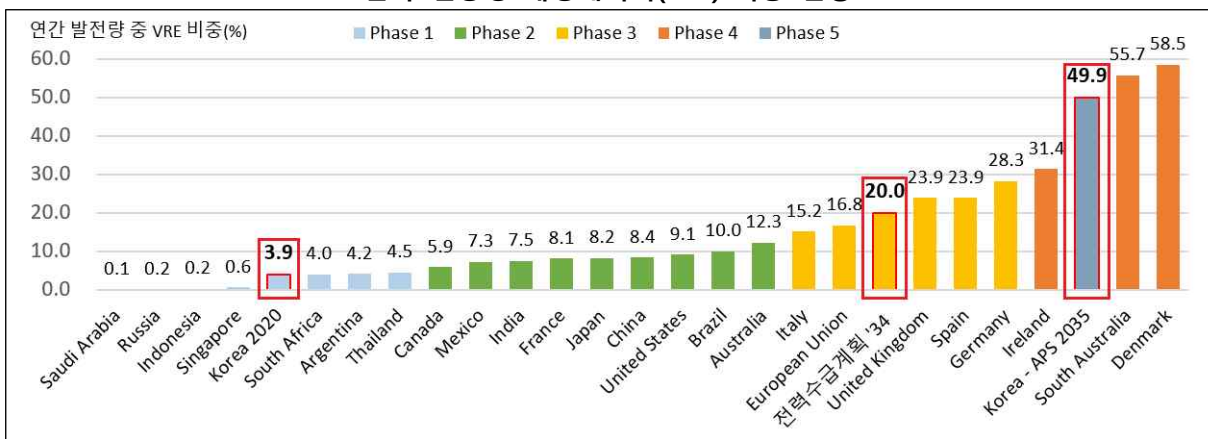
자료 : 한전경영연구원(2022.3), "미국 주요 ISO의 재생에너지 대응전략"

□ 한국 또한 재생에너지 비중 확대에 따라 VRE 출력제한 빈도가 증가할 것으로 예상되며, 전력계통 유연성 확대 필요

○ 국제에너지기구(IEA)는 '34년경 국내 VRE 발전 비중을 최소 20%(9차 전력수급 기본계획 기준)에서 최대 49.9%(APS* 기준)로 전망하여 3단계 이상 진입할 것으로 예측

* 발표공약 시나리오(Announced Pledges Scenario) : 국가별 NDC와 장기 탄소중립 목표 등 모든 기후변화 대응 정책이 계획대로 이행되는 시나리오

한국 변동성 재생에너지(VRE) 비중 전망



자료 : IEA(2021.12), "Reforming Korea's Electricity Market for Net Zero"

○ 산업통상자원부 등 정부기관은 재생에너지 변동성에 대응하기 위해 유연성 자원 확보, 전력시장 제도개선 등을 추진

- 양수발전, ESS, 동기조상기*, 수요반응자원(DR)** 등 유연성 자원을 지속 확보하여 재생에너지 변동성 완화 및 계통신뢰도 유지

* 전력계통에 연결되어 동기화된 회전기기로, 평소에 전기에너지를 회전체의 운동에너지로 저장했다가 계통이 불안정해질 때 다시 전력으로 방출하여 계통에 관성·안정성 제공

** 수요반응자원(Demand Response)은 전력사용량 피크시간대에 수요를 감축하는 유연성 자원이나, '21년 제주도에 도입된 플러스DR 제도는 태양광 전력생산이 증가하는 낮 시간대 수요를 높여 전력망 안정성 유지

- 풍력·태양광 발전량 예측제도, 재생에너지 입찰제도, 가상발전소(VPP)* 등 전력시장 제도개선을 추진하여 재생에너지 발전량 예측능력 제고

* 가상발전소(Virtual Power Plant) : 다양한 소규모 재생에너지 전원을 묶어 포트폴리오를 구성함으로써 변동성을 완화하고 발전량 예측·입찰 서비스 제공

- 재생에너지 연계 수소생산 등 섹터커플링(P2X)*을 통해 재생에너지를 다른 형태의 에너지로 저장하는 방안 또한 활발히 논의 중

* 초과생산된 전력을 수소(P2G), 열(P2H), 운송(V2G) 등 다양한 분야로 변환하여 저장 및 사용