

정책 이슈페이퍼 18-17

신재생에너지 보급 확산을 대비한 전력계통 유연성 강화방안 연구

안재균

목 차

- I. 배경 및 문제점 / 1
- II. 선진국의 전력계통 유연성 강화 사례 / 3
- III. 국내 전력계통 유연성 분석 / 13
- IV. 정책 제언 / 17
- 〈참고자료〉 / 21

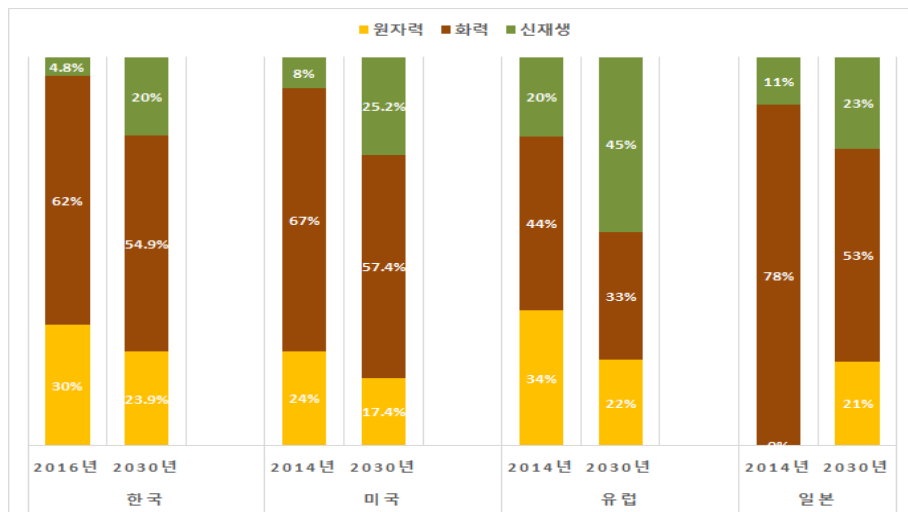
I. 배경 및 문제점

□ 신정부의 에너지전환 정책 추진으로 변동적 재생에너지 확대가 예상됨에 따라 전력계통 유연성의 중대가 요구됨.

○ 신정부의 에너지전환 추진에 따른 제8차 전력수급기본계획에 의하면 2030 신재생에너지의 발전량 비중은 20%를 차지할 전망이다.

- 2030년 전원별 발전량 비중 : 원자력(23.9%), 석탄(36.1%), LNG(18.8%), 신재생에너지(20.0%), 기타(1.1%)
- 정부의 에너지믹스 목표에 따라 2030년 전원믹스는 주요 선진국과의 믹스와 유사해져갈 전망이다.

[그림 1] 주요국의 미래 에너지 믹스 목표



출처: 이철용 외(2017, p.13)를 토대로 재구성

- 신재생에너지 중 변동적 재생에너지인 태양광 및 풍력의 2030년 발전량 합계 비중은 13.5%를 차지할 전망이다.

- 변동적 재생에너지의 장점은 청정에너지, 적은 용수 소비량, 지속 발전인 반면에, 단점은 불확실성, 변동성, 낮은 관성 제공임.
 - 변동적 재생에너지 출력은 예측하기 어려운 불확실성과 출력의 변화폭이 큰 변동성으로 전력계통 운영에 부정적 영향을 줌.
 - 대규모 변동적 재생에너지의 계통 병입 시 전력계통을 안정적으로 유지하기 위해서는 전력계통 유연성(Power system flexibility)을 확보해야 함.
- 전력계통 유연성은 매순간 전력수급 균형을 유지하기 위해 비용-효과적으로 발전과 부하를 유지하는 능력으로 정의함.
 - 기존의 전력계통 유연성은 주로 수요 측 변동, 일반 발전기의 예상치 못한 고장, 계통 상황 등에 대처하기 위한 것이었음.
 - 변동적 신재생에너지 보급 증가는 이러한 전력계통 유연성의 제고를 요하는 주요 요인으로 작용할 것으로 예상됨.
 - 이러한 전력계통 유연성은 ESS와 수요반응을 통해 신규 자원을 추가해서 확보할 수 있을 뿐 아니라 전력시장운영 개선을 통해 기존의 유연성을 보다 확대할 있음.

□ 본 연구에서는 변동적 재생에너지 확대를 위한 전력계통 유연성 평가와 서진국의 유연성 제고 사례를 조사하고 국내 정책적 시사점을 제시 함.

- 주요 선진국의 전력계통 유연성 제고 사례 조사
- 2030년 전력수급을 가정한 전력계통 유연성 평가
- 비용효과적인 전력계통 유연성 확보를 위한 정책적 시사점 제시

II. 선진국의 전력계통 유연성 강화 사례

1. 전력시장제도 개선

□ 선진국의 전력계통 유연성 제고를 위한 제도는 변동적 재생에너지 사업자에 밸런싱 의무 부여, 실시간 시장 정산주기 단축, 당일시장 개설, 출력 제한 (Curtailment) 규정을 들 수 있음.

- 연방에너지규제위원회(FERC)는 변동적 재생에너지 사업자에게 밸런싱 벌과금을 부여하여 출력 예측능력 제고를 유도하고 있음.
- 미국 전력시장에서는 하루 전 시장 및 실시간 시장 프로세스에 따라 발전량 오차 분은 실시간 가격으로 정산하고 있음.
- FERC 법 890에 따르면 오차 범위에 따라 벌과금이 결정되며 변동적 재생에너지 사업자는 Tier 3이 면제되어 일반 발전사업자 보다는 완화된 제도를 적용받고 있음.

<표 1> 밸런싱 벌과금 등급

구 분	시간대별 오차범위(+/-)	정 산	대상자
Tier 1	1.5% 이내 (2MW 이하)	- 매월 상계 - 매달 말일 증분비용 100%로 정산	변동적 재생에너지, 일반사업자
Tier 2	1.5 ~ 7.5% (2 ~ 10MW)	- 양의 편차 : 증분비용의 90%로 정산 - 음의 편차 : 증분비용의 110%로 정산	
Tier 3	7.5% 이상 (10MW 이상)	- 양의 편차: 증분비용의 75%로 정산 - 음의 편차: 증분비용의 125%로 정산	일반사업자

자료: FEEC(2007)

- 유럽 국가에서 밸런싱 시장에서 수급불균형 가격(Imbalancing price) 책정 방법은 일반적으로 단일 가격제(Single pricing)와 이중 가격제(Dual pricing)로 구분 됨.
- 단일 가격제에서는 밸런싱 의무 당사자(Balancing responsible party, BSP)의 오차 방향에 상관없이 동일한 밸런싱 에너지 가격을 적용함.
- 이중가격제에서는 계통의 수급상황을 완화시킬 경우 통상적으로 수급불균형 가격은 하루 전 시장 가격으로 결정됨. 반면에, 계통의 수급불균형이 심화되었을 경우에는 별도의 벌과금이 추가됨.

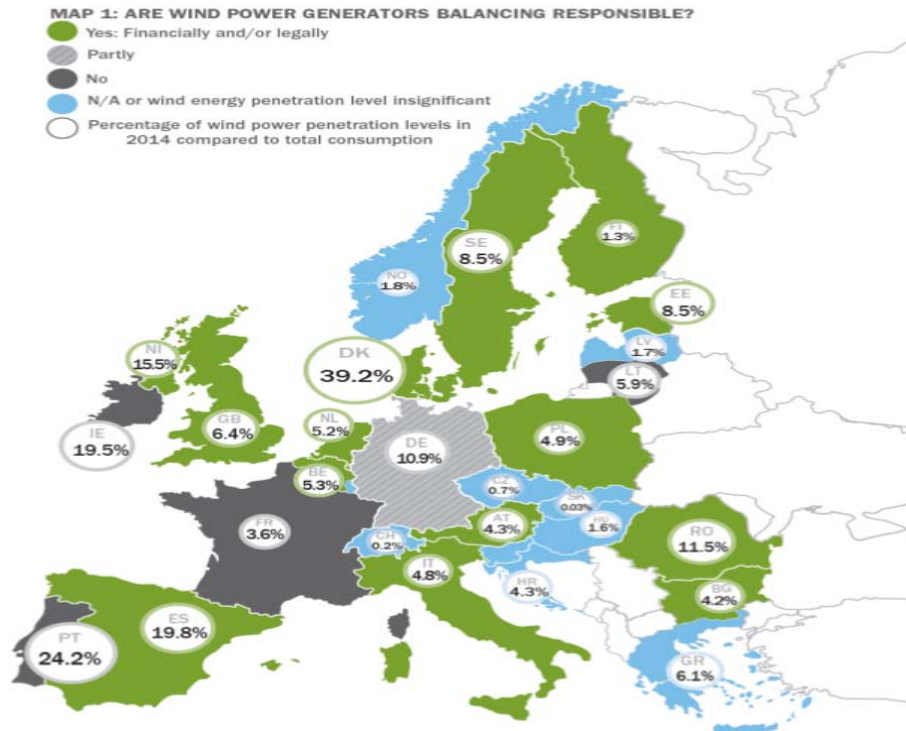
<표 2> 이탈리아 밸런싱 정산제도

구 분		지역 임밸런스 방향	
		+	-
발전기 임밸런스 방향	+	발전기는 Min(밸런싱 에너지가격, 하루 전 시장 가격)으로 정산 받음	발전기는 Max(밸런싱 에너지가격, 하루 전 시장 가격)으로 정산 받음
	-	발전기는 Min(밸런싱 에너지가격, 하루 전 시장 가격)으로 지불	발전기는 Max(밸런싱 에너지가격, 하루 전 시장 가격)으로 지불

출처: EWEA(2015, p.9)

- 풍력발전 사업자를 대상으로 동일한 밸런싱 의무를 부과하는 국가는 네덜란드, 스웨덴, 영국 등이 있다. 이에 반해 밸런싱 의무를 모두 면제하는 국가는 프랑스, 아일랜드가 있음.

[그림 2] 유럽 국가별 풍력발전량 비중 및 밸런싱 의무



출처: EWEA(2015, p.5)

- 변동적 재생에너지 사업자는 일반 발전사업자와 유사한 수준으로 전력시장 제도를 적용하고 있음.
 - PJM, NYISO, MISO에서는 변동적 재생에너지 사업자는 하루 전 시장에 참여하여 용량가치를 제공하고 있음.
 - PJM, NYISO, CAISO는 경제적인 출력 제한(Curtailment)을 위해 에너지 감소 시장을 개설하여 입찰 제도를 적용하고 있음.
 - 변동적 재생에너지 출력 제한 지시는 자동화 또는 수동화 방법이 있음.
 - 출력 제한에 따른 보상규정 경우, CAISO는 계통안정을 위한 제약 시에는 보상이 없으며, ERCOT는 모두 보상하지 않음. PJM은 economic-base point 이하로 풍력발전 제약 시 보상토록 함. 그리스는 연간 제약량의 30%

를 보상함. 스페인은 제약량의 15%를 보상하지만 계통의 안전을 위한 제약 시에는 보상하지 않음.

<표 3> 미국 대표 지역별 변동적 신재생에너지 전력시장 참여 형태

전력시장	내 용
PJM, NYISO	- 하루 전 시장 참여 - 에너지 감소 시장(Dispatch-down market) 입찰
MISO	- 하루 전 시장 참여 - DIR 운영: 변동적 자원 실시간 시장 가격 결정
CAISO	- PIRP 운영: 실시간 시장에서 스스로 발전계획 수립 - 에너지 감소 시장(Dispatch-down market) 입찰

자료: GE Energy(2012)

- 유연성을 제고하는 자원에 인센티브를 강화하기 위해서 미국의 연방에너지 규제위원회는 기존의 1시간 단위에서 5분 단위로 정산주기를 단축토록 함.
 - 정산주기 단축은 빠른 증감발, 보다 넓은 급전 범위, 가스 터빈의 기동시간 단축을 유도한다. 또한 장기적으로 유연성 제공 자원에 효과적인 인센티브를 제공하여 신규 자원의 전력시장의 참여와 기존 자원의 유연성을 확대토록 함.
- 유럽 주요 전력시장은 변동적 재생에너지의 불확실성에 대비하기 위해 당일 시장(Intra-day market)을 운영하고 있음.
 - 당일 시장은 하루 전 시장과 실시간 운영 사이에 수급불일치(Imbalance) 위험과 예비력 확보 비용을 감소시키기 위해 개설함.
 - 에너지거래 참여자는 풍력발전의 예측 결과의 수정 및 예상치 못한 발전기 고장을 반영하기 위해 당일 시장에서 하루 전 시장에서 계약한 거래량을 15분 단위로 수정할 수 있음.

2. 전력계통 운영 선진화 및 풍력발전 예측 시스템 고도화

□ 전력계통 유연성을 제고하기 위해 스페인은 신재생에너지 관제센터를 운영하고 있으며 미국 텍사스는 풍력발전 예측 시스템 및 출력변동 정보 시스템을 운영하고 있음.

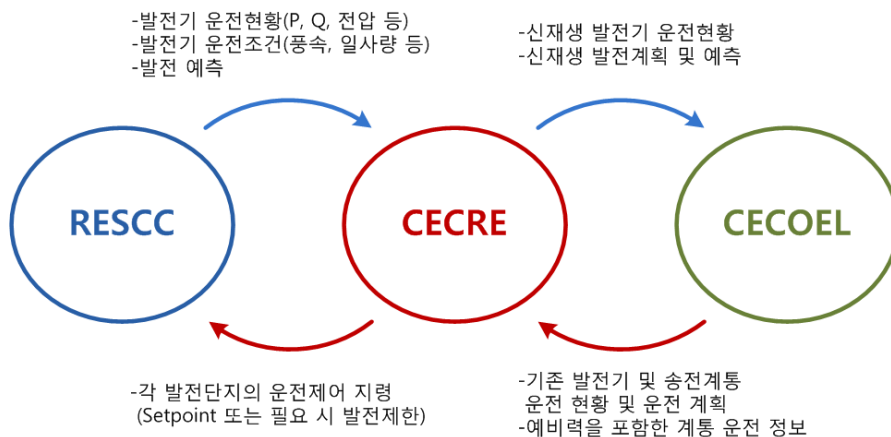
○ 스페인은 중앙 중앙 신재생에너지 운영센터(CECRE) 및 지역 신재생운영센터(RESCC)를 운영 중임.

- CECRE는 신재생에너지 출력제한 결정 및 운전 지령 지시하며, RESCC는 신재생에너지 제어 수행 및 감시 함.

※ 스페인의 인접국과 계통연계는 제한적으로 자체 예비력으로 변동적 재생에너지의 변동성을 대처하고 있음.

※ '15년 스페인 풍력발전 용량 및 발전량 : 22.9GW(21.5%), 49.3TWh(17.6%)

[그림 3] 스페인 신재생에너지 운영 시스템



출처: 한국전력거래소(2013, p.19)

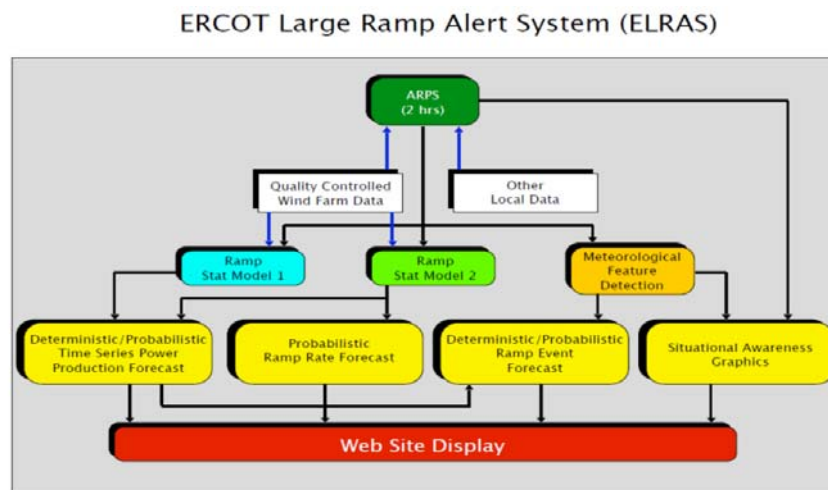
○ 텍사스(ERCOT)는 풍력발전 예측시스템 및 출력변동 정보 시스템(ELRAS) 운영하고 있음.

- 단기에측정보시스템은 1~48시간 예측 정보 전달하며, ELRAS는 풍력발전기 위치가 편중되어 있고 여름철 기상 변화 심한 텍사스에서 풍력발전의 출력 변동을 사전에 예측하고 경보를 내림.

※ 텍사스는 미국 내 다른 지역과 송전계통이 분리되어 있어 일종의 고립된 섬에 해당됨.

※ '15년 텍사스 풍력발전 용량 및 발전량 : 15.8GW(18%), 40.8TWh(11.7%)

[그림 4] ERCOT의 풍력 감발률 예측 프로그램(ELRAS) 전개도



출처: ERCOT(2014, p.15)

3. 전력계통 유연성 제공 자원 확보

□ 미국 및 유럽의 주요 전력시장에서는 수요자원 및 ESS와 같은 비발전기를 보조서비스로 활용하고 있으며, 캘리포니아는 가스터빈(GT)와 같은 중감발율이 높은 전원과 ESS와 같은 속응성이 높은 신기술을 의무적으로 확보하고 있음.

○ 미국 PJM은 수요자원을 보조서비스에 활용하기 위하여 시장참여 조건인 최소 참여용량, 응답 및 지속시간 기준을 완화하고 있음.

- 2016 PJM의 순동예비력 참여 수요자원은 23MW로 6.6%를 차지하며, 전년 대비 10배 증가를 기록함.

<표 4> PJM 수요자원 최소용량, 응답 및 지속시간

구 분	최소 참여용량	응답시간	지속시간
주파수조정예비력	0.1MW	5분	-
순동예비력	0.1MW	10분	10분
하루 전 예비력	0.1MW	30분	30분

출처: 채재용(2016, p446)

- PJM과 CAISO는 고성능 자원인 ESS의 주파수조정서비스 시장 참여를 유도하기 위해 인센티브 제공과 참여기준을 완화 함.
 - PJM의 보조서비스 시장은 일반 발전 대상 기존 주파수조정서비스(REG A)와 ESS 대상 동적 주파수조정서비스(REG D)로 구분하여 운영하고 있음.
 - ※ 정산단가는 REG A의 평균 시장가격은 25~30\$/MWh인 반면에 REG D의 평균 시장가격은 35~40\$/MWh로 고성능 자원에 인센티브를 제공
 - CAISO는 ESS의 주파수조정시장 참여 최소용량을 1MW에서 500kW로 하향 조정함. 지속시간 또한 기존에는 하루 전 및 실시간 시장에서 2시간이었던 지속시간을 각각 60분, 30분으로 완화함.
- 유럽 국가 또한 신재생에너지 보급 확대에 따라 수요자원의 활용을 확대하고 있음.
 - [그림 5]의 녹색 표시는 수요자원의 상업화 단계를 나타내며 해당 국가는 영국, 프랑스, 아일랜드, 프랑스, 네덜란드, 벨기에, 체코, 핀란드임.

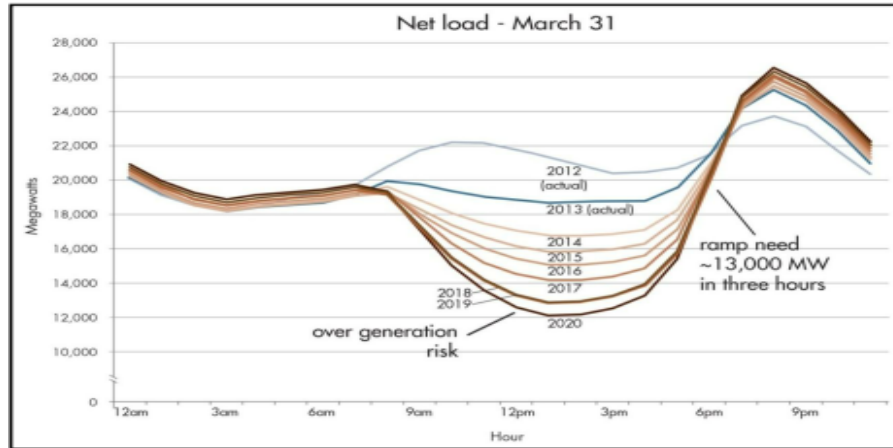
[그림 5] 유럽 지역별 수요자원 현황



출처: Coalition, SSED(2017, p.11)

- 캘리포니아(CAISO)는 유연성 제공 자원을 의무적으로 확보하기 위하여 Flexible ramping product 도입함.
- 2016년 태양광 발전량은 약 17.2TWh로 총 발전량에서 8.7%를 차지함.
- 태양광 발전의 증가로 인하여 일출 시간대는 순수요(Net load)가 감소하고 일몰시간대는 순수요가 증가하는 오리 모양을 띤 덕커브(Duck curve)의 패턴이 일어나고 있음.

[그림 6] CAISO 연도별 Duck Curve



출처: California ISO(2014, p.6)

- 이에 따라 일출시간에서 일몰시간까지 태양광 발전이 증가하므로 공급이 수요를 초과할 가능성이 높을 경우 타 발전기는 최소출력으로 유지하거나 정지해야 함.
- 특히 공휴일, 토, 일요일과 같은 특수일이나 봄철 전력수요가 상대적으로 적으므로 신재생에너지 공급이 전력수요를 초과할 확률이 높아짐.
- 일몰 후에는 태양광 발전이 대폭 감소하므로 수급일치를 유지하고 정지 한 발전기를 재가동해야 함.
- 이러한 여건에서는 정지 후 기동하는 데 소요시간이 짧은 가스터빈 발전기가 필요하게 됨.
- 이에 대한 대책으로 2016년에 도입한 유연 응동 상품(Flexible ramping product)은 전력수요 또는 신재생에너지 출력 예측 오차에 따른 불확실성에 대처하기 위해 추가적인 응동 용량을 의무적으로 확보 목적을 지님.
- 계통운영자는 증감발 필요량을 확보하기 위해 발전사에게 기동정지에 관한 의무 입찰을 실시하고 급전계획에 반영하며, 그에 따른 기회비용을 발전사업자에게 보상함.

- 유연성 용량 확보 의무량은 Base, Peak, Super Peak ramping으로 3가지 범주(Category)로 구분함.
- Base ramping은 순수요에서 연속 3시간 동안 두 번째로 가장 큰 응동 요구량(Ramping requirement) 수준으로 산정함.
- Peak ramping의 용량 요구 수준은 연속 3시간 기준으로 순수요의 최대 응동 요구량에서 두 번째 응동 요구량을 차감한 크기와 같음.
- Super peak ramping의 요구 용량은 최대 응동 요구량에서 5%에 해당됨.

<표 5> CAISO Ramping product 세부사항

구 분	Base ramping	Peak ramping	Super-peak ramping
입찰 의무시간	오전5시~오후10시	정해진 시점 최소 5시간 이상	정해진 시점 최소 5시간 이상
요구량	유효용량 기준 최소 6시간	유효용량 기준 최소 3시간	유효용량 기준 최소 3시간
이용시간	매일	매일	평일 (주말, 휴일 제외)
기동횟수	최소 2번 이상/일	최소 4번 이상/일	최소 1번 이상/일

출처: 이재욱(2017, p.17)

- 캘리포니아 공공 유틸리티 위원회(California Public Utilities Commission, CPUC)는 2010년 법안 2514(Assembly bill, No. 2514)를 통과하여 ESS의 이용을 의무화 함.
- ESS의 보급은 ① 전력계통 최적화, ② 신재생에너지 통합, ③ 2050년까지 1990년 기준 80% 온실가스 감축의 목적을 지님.
- 2014년 규칙 재정을 통해 캘리포니아 3대 유틸리티사(Southern California

Edison, Pacific Gas and Electric, San Diego Gas & Electric)는 2020년까지 총 1,325MW의 ESS를 송배전망, 수용가에 설치 의무를 지님.

- 전기판매사업자(Electric service provider)와 지역수요관리기업(Community choice aggregators)은 2020년 해당 사업자가 담당하는 최대부하의 1%에 해당하는 규모의 ESS를 확보해야 함.

<표 6> 캘리포니아 3대 발전사업자들 ESS 의무용량(MW)

구 분	2014년	2016년	2018년	2020년	누적
Southern California Edison	90	120	160	210	580
Pacific Gas and Electric	90	120	160	210	580
San Diego Gas & Electric	20	30	45	70	165
합 계	200	270	365	490	1,325

출처: CPUC(2013, p.15)를 토대로 재구성

Ⅲ. 국내 전력계통 유연성 분석

1. 분석 모형

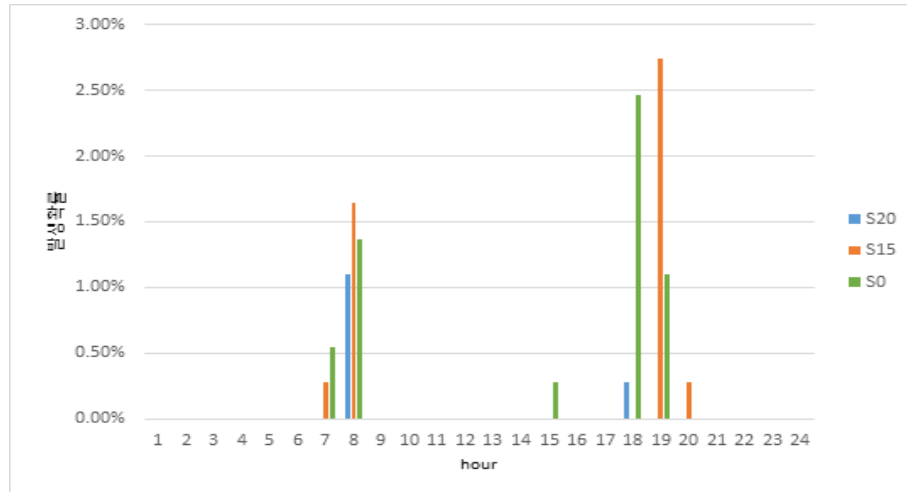
- 본 연구는 Lannoye et al.(2015) 방법을 2030년 우리나라 전력수급 상황을 가정하여 태양광 및 풍력발전의 1시간 단위 변동성에 따른 전력계통의 유연성을 평가하였음.
- 본 모형의 장점은 변동적 재생에너지의 출력 및 전력수요의 변화, 발전기의 증감발 능력을 종합적으로 고려하여 전력계통 유연성(Power system flexibility)을 분석할 수 있다는 점이며, 모형 절차는 다음과 같이 4단계로 구성됨.

- ① 기상 자료 또는 과거 발전량 패턴을 이용한 변동적 신재생에너지 시뮬레이션, ② 전력수요에서 변동적 신재생에너지를 차감한 순수요 변화 계산, ③ 발전량 믹스 도출을 통한 유연성 용량 계산, ④ 시간대별 및 월별 유연성 계산
- 유연성 분석 결과가 전 시간대 높은 빈도로 발생할 경우 전원믹스의 수정이 필요하며, 특정 시간대 낮은 빈도로 발생할 경우는 급전순위 변경으로 대처가 가능함을 의미함.
- 본 연구는 개략적인 경제급전순위 추정을 통해 유연성 용량을 분석함으로써 향후 유연성이 취약해 질 수 있는 시간대와 원인을 분석함.
- 모의에서는 무효전력 공급을 반영하지 못하여 수도권 소재 발전소의 전체 발전량에서 차지하는 비중이 약 20% 이상인 현실과 차이가 발생함.
- 따라서 본 연구는 수도권 발전 비중이 20% 이상일 때 유연성 부족이 발생한 결과에서만 유효한 것으로 간주함.
- 20% 미만일 때 유연성 부족 결과는 비록 실제와 동떨어진 결과라 할지라도 수도권에 위치한 LNG 복합화력 발전소 운영 면에서 시사점을 제시하므로 수도권 발전량 비중을 구분하여 그 결과를 기술함.
- 본 연구는 제8차 전력수급기본계획 확정 전에 분석을 진행하여 신규 양수 2GW, ESS 0.7GW를 반영치 못함.

2. 분석 결과

- **중발 유연성 부족은 1시간 내 중발능력이 제한되고 기동하는데 시간이 소요됨에 따라 순수요의 증가분을 충족하지 못한 현상으로 주로 8시, 18시에 발생함.**

[그림 7] 시간대별 증발 유연성 부족 발생 확률



○ 시나리오별(수도권 발전량 20%, 15% 0% 기준 순) 총 증발 유연성 부족은 5회, 17회, 52회 발생하였음.

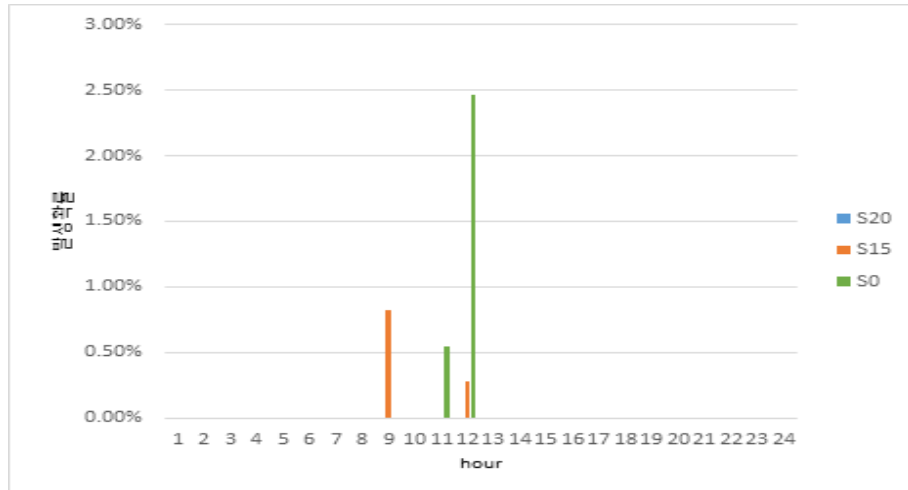
- 8시 증발 유연성 부족 발생 횟수는 4회, 6회, 21회 이며, 주로 겨울과 여름에 일어나며, 주요 원인은 오전 수요 증가 시간대 피크발전기가 가동되지 않을 때 풍력발전의 예상치 못한 감소임.
- 18시 증발 유연성 부족 발생 횟수는 1회, 1회, 14회로 주로 가을, 겨울에 발생하며 주요 원인은 비교적 수요수준이 높은 시간대 태양광 출력 감소임.
- 증발 유연성 부족의 대처방안으로는 유연성 제공자원 위주의 급전순위 조정, 수요자원, 가스터빈 단독운전, 양수발전 활용 등을 들 수 있음.

□ 감발 유연성 부족은 1시간 내 감발능력이 제한되고 정지하는데 시간이 소요됨에 따라 순수요의 감소분을 충족하지 못한 현상으로 변동적 재생에너지의 과잉발전이 주요 원인임.

○ 변동적 재생에너지의 출력 제약(Curtailment)은 감발 유연성 제공 수단으

로 볼 수 있으나 본 연구는 계통운영의 참고자료로 활용하기 위해 출력 제약(Curtailment)을 배제함.

[그림 8] 시간대별 감발 유연성 부족 발생 확률



- 시나리오별(수도권 발전량 20%, 15% 0% 기준 순) 총 감발 유연성 부족은 0회, 4회, 15회 발생하였음.
- 9시 감발 유연성 부족 발생 횟수는 0회, 3회, 3회 이며, 모두 2월 구정에 발생함. 주요 원인은 수요 수준이 가장 낮은 휴무일에 변동적 재생에너지의 과잉발전임.
- 12시 증발 유연성 부족 발생 횟수는 0회, 1회, 10회로 주로 봄에 발생하며 주요 원인은 수요 수준에 비해 태양광 출력의 큰 폭 증가임.
- 감발 유연성 부족의 대처방안으로는 변동적 재생에너지의 출력 제약 (Curtailment), 급전순위 조정, 수요자원, 가스터빈, 양수 활용 등을 들 수 있음.

IV. 정책 제언

□ 전력계통 유연성을 제고하기 위한 제도적 방법은 국내 보조서비스 및 실시간 시장 개설, 변동적 재생에너지 규제를 들 수 있음.

○ 현행 CBP 제도에서는 변동적 재생에너지 확대 시 제약비발전 전력량 정산금(COFF)의 증가로 경제적 비효율성을 야기함.

- COFF는 발전기가 가격결정발전계획에 포함되었으나, 수요예측 오차 등으로 인하여 실제 발전하지 않은 전력량에 대한 정산금으로 시장가격과 발전하지 못한 전력량을 곱한 금액에서 변동비를 차감하여 정산하므로 피크 발전기와 같은 유연성 제공자원은 적정 인센티브를 받을 수 없음.

○ 보조서비스시장 운영으로 투명성 제고, 보조서비스 시장가격 형성으로 유연성 전원 보상 현실화를 기대할 수 있음.

○ 실시간 시장 운영으로 계통 상황을 반영한 실시간 가격형성으로 유연성 전원 인센티브 제고와 이중정산제도로 수급균형 의무 부여로 예측능력 제고 유인을 제공할 수 있음.

※ 실시간 시장의 필수성 : ① 계통신뢰도 유지에 가장 비용효과적 수단, ② 선도 또는 쌍무 계약에 적합한 가격 신호 제공, ③ 발전소 투자 의사결정에 적합한 가격 신호 제공

○ 변동적 재생에너지의 확대를 대비하기 위해서는 일반 전원과 유사한 수준의 제도 적용을 준비토록 해야 함.

- 초반에는 관련 산업이 성장할 수 있도록 완화된 밸런싱 의무를 설정할 수 있음.

- 계통 안전성을 저해할 때에는 직접적인 출력제약과 증감발률에 제한을 두는 제도가 필요하며, 급전지시에 이행하는 제약 발전에 대해서는 보상 체계를 고려할 수 있음.

□ 변동적 신재생에너지 불확실성과 변동성에 따른 예비력을 줄이는 방법으로는 예측능력을 강화해야 함.

- 단기 및 중기 계통운영에 활용하기 위해서는 다양한 예측 주기를 갖은 풍력발전 예측 시스템이 요구됨.
- 또한 지역적으로 분포된 풍력발전 단지를 대상으로 갑작스런 기상 변화에 따른 증감발출 경고 시스템 구축을 고려할 수 있음.

□ 가스터빈, 양수, ESS와 수요자원과 같은 유연성 제공 자원을 확보해야 함.

- 보조서비스용 수요자원을 확보하기 위해서는 AUTO-DR 인프라 구축이 필요하여 시장참여를 확대하기 위해서는 적정 인센티브 부여와 시장참여 조건을 완화할 필요가 있음.
- ESS는 충분히 주파수조정용으로 활용하기 위해서는 장주기 시스템으로 개발해야 하며, 제도적인 측면에서 보조서비스의 합리적인 정산단가 지급과 속응성에 대한 적정 인센티브 마련을 통해 동 자원의 확보를 유도할 필요가 있음.
- 양수발전은 유연성 강화의 효과적인 수단으로 신기술로 속응성이 향상된 가변속(Doubly-Fed Induction Machine, DFIM)과 펌핑-발전 모드의 전환이 빠르고 운전범위가 넓은 별치식(Tenary) 도입을 고려할 필요가 있음.
- 가스터빈 발전기의 장점은 넓은 출력범위, 짧은 기동시간, 빠른 증감발출로 변동적 신재생에너지를 고려한 전력계통 운영에 일반전원 보다 폭넓은 대안을 제공함.

<표 5-7> 유연성 제공 자원 특성

구분		가스터빈	양수	ESS	DR
기술 특 성	증감발 (분당)	88MW	130~300MW	1,440MW	측정불가
	기동시간 (Hot기준)	20~40분	5분	-	-
	최소출력 (%)	25	28.3	-	-
경제 성	건설비 (천원/kW)	891	1,013	PCS 1MW: 2.9억원 1MWh 배터리: 7.3 억원	-
	수명(년)	30	55	10~15	-
평가	장점	.건설 용이	.장시간 사용 가능	.건설 용이 .분산설치 가능 .빠른 속응력	.설비건설 불필요
	단점	.느린 기동시간 .송전망 건설 필요	.장기 건설기간 .송전망 건설 필요 .신규 입지 문제	.짧은 수명 및 운전시간	.AUTO DR 개발 필요 .사용가능시간 제약

자료: GT 기술특성은 GE사의 9HA.02 모델, <https://www.gepower.com/gas/gas-turbines/9ha>(검색일: 2017.12.6.) 참조, ESS 가격은 이투데이, <http://www.etnews.com/20160425000305>(검색일: 2017.12.6.) 참조, 그 외 자료는 한국전력거래소(2017d) 참조

- 가스터빈과 증기터빈으로 구성된 LNG 복합발전에서 가스터빈의 단독운전이 가능하나 발전사업자는 기동정지가 잦을 경우 기계의 마모 및 손상과 사용수명의 단축을 우려하여 가스터빈의 단독운전을 기피할 수 있음.
- 또한 가스터빈은 효율이 낮아 변동비가 복합발전보다 높다. 풍력 또는 태양광 발전의 변동성으로 가격결정발전계획에 없던 가스터빈이 발전하게 되면 통상적으로 SMP는 석탄화력발전 또는 LNG 복합발전이 결정하므로 현행 제도에서는 제약발전 전력량 정산금(Constrained-ON energy payment,

CON)이 지급되나 해당 정산금이 변동비로 주어질 경우 연료비 이외에 소요되는 수선유지비 등을 회수할 수 없게 됨.

※ CON은 발전기가 가격결정발전계획을 초과한 발전량에 대한 정산금으로 시장가격과 초과 전력량을 곱한 금액과 변동비 중 최댓값으로 산정함. 해당 정산금이 변동비로 주어질 경우 연료비 이외에 소요되는 수선유지비 등을 회수할 수 없게 됨.

- 이에 대한 대책으로 캘리포니아와 같이 증감발 용량을 의무적으로 확보하고 동시에 적정한 가격으로 보상하는 제도 도입을 고려해야 함.

< 참고자료 >

- 이재욱. (2017). 재생에너지 확대에 따른 캘리포니아정부의 대응방향. 에너지경제연구원-한국전력거래소 정책협의회 발표자료.
- 이철용, 조상민, 안재균, 김기환, 김연중, 전재완, 조지혜. (2017). 신재생에너지 발전을 위한 정책 제언. 경제·인문사회연구회 협동과제.
- 채재용, 조형철, 장민석, 김현태, 주성관. (2016). 수요반응 자원의 보조서비스 활용 해외사례와 국내 전력시장 적용방안에 대한 기초연구. *대한전기학회 학술대회 논문집*.
- 한국전력거래소. (2013). 스페인 국외출장 결과보고.
- 한국전력거래소. (2017d). 신재생 확대 대비 주요 검토사항 및 대응방안.
- Lannoye, E., Daly, P., Tuohy, A., Flynn, D., and O'Malley, M. (2015). Assessing Power System Flexibility for Variable Renewable Integration: A Flexibility Metric for Long-Term System Planning.
- California ISO. (2015). Flexible Ramping Product. Revised Draft Final Proposal.
- Coalition, S.S.E.D. (2017). Explicit Demand Response in Europe—Mapping the Markets 2017. SEDC: Brussels, Belgium.
- CPUC. (2013). Decision adopting energy storage procurement framework and design program. Agenda ID# 12370 (Rev. 2).
- EWEA. (2015). Balancing responsibility and costs of wind power plants.
- ERCOT. (2014). Load and renewable forecast in grid operations and planning: ERCOT Experiences. IEED T&D.

FERC. (2007). Preventing Undue Discrimination and Preference in Transmission Service. Docket Nos. RM05-17-001, 002 and RM05-25-001, 002; Order No. 890-A.

FREC. (2016). Settlement Intervals and Shortage Pricing in Markets Operated by Regional Transmission Organizations and Independent System Operators. Docket No. RM15-24000; Order No. 825.

GE Energy. (2012). PJM renewable integration study. Schenectady, NY: Prepared for PJM Interconnection, LLC.

정책 이슈페이퍼 18-17

신재생에너지 보급 확산을 대비한 전력계통 유연성 강화방안 연구

2018년 6월 30일 인쇄

2018년 6월 30일 발행

저 자 안 재 군

발행인 박 주 현

발행처 에너지경제연구원

44543 울산광역시 중가로 405-11

전화: (052)714-2114(代) 팩시밀리: (052)714-2028

등 록 1992년 12월 7일 제7호

인 쇄 (사)한국척수장애인협회 인쇄사업소 (031)424-9347
