

재생에너지 간헐성 해소와 계통 유연성 확보의 핵심 난제와 해법

# 제6회 에너지전환 테크포럼

2019.10.29(화)

**KETEP**  
한국에너지기술평가원





재생에너지 간헐성 해소와 계통 유연성 확보의 핵심 난제와 해법

## 제6회 에너지전환 테크포럼

2019. 10. 29

시 간	내 용		비 고
14:00~14:15	개회 및 포럼 소개		사회자
	개회사		임춘택 원장 (한국에너지기술평가원)
14:15~14:55	발 제	재생에너지 확대에 따른 전력계통 시스템의 기술적·경제적 이슈	박종배 교수 (건국대학교)
		제주 재생에너지 보급과 계통운영 이슈로 본 시사점과 대응방안	옥기열 팀장 (전력거래소)
14:55~15:45	패 널 토 의	<p>[좌장] 최재석 교수(경상대학교)</p> <p>[패널] 곽은섭 계통연계부장(한국전력공사), 강보민 발전소장(SK D&amp;D 풍력사업본부) 김진호 교수(광주과학기술원), 허 진 교수(상명대학교) 전동훈 수석연구원(전력연구원), 하정림 변호사 (법무법인 태림)</p>	
15:45~15:55	청중과의 대담		
15:55~16:00	폐회		



# CONTENT

재생에너지 확대에 따른 전력계통 시스템의 기술적 · 경제적 이슈 .....	01
박종배 교수 (건국대학교)	

제주 재생에너지 보급과 계통운영 이슈로 본 시사점과 대응방안 .....	17
옥기열 팀장 (전력거래소)	

## 패널 논제

<b>좌장</b> 최재석 (경상대학교 교수)	
<b>패널</b> 곽은섭 (한국전력공사 계통연계부장) .....	35
<b>패널</b> 강보민 (SK D&D 가시리 풍력사업본부 발전소장) .....	43
<b>패널</b> 김진호 (광주과학기술원 교수) .....	47
<b>패널</b> 허진 (상명대학교 교수) .....	51
<b>패널</b> 전동훈 (전력연구원 수석연구원) .....	55
<b>패널</b> 하정림 (법무법인 태림 변호사) .....	61



재생에너지 간헐성 해소와 계통 유연성 확보의 핵심 난제와 해법

## 제6회 에너지전환 테크포럼

박 종 배 교수 (건국대학교)

재생에너지 확대에 따른  
전력계통 시스템의 기술적·경제적 이슈

**KEFEP**  
한국에너지기술평가원







제6회 에너지전환테크 포럼

## 재생에너지 확대에 따른 전력시스템의 기술적·경제적 이슈

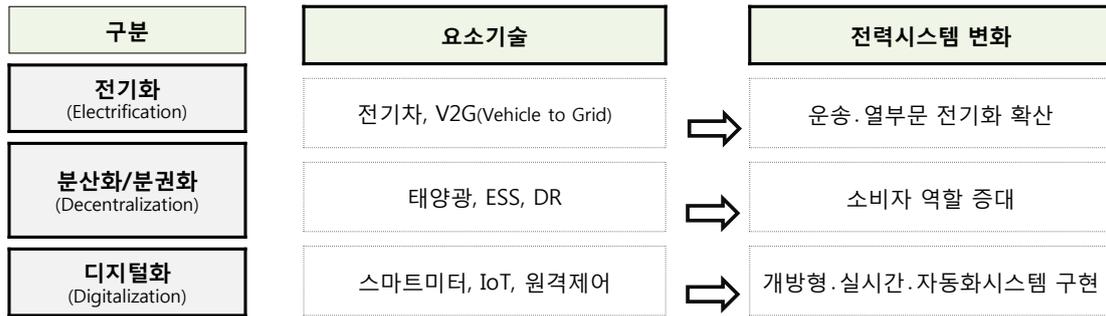
2019.10.29

박종배 교수  
건국대학교 전기전자공학부

### 논의 주제

- 재생에너지 확대가 필요한가?
- 국내에서 재생에너지 확보는 가능한가?
- 재생에너지 비용은 경쟁적인가?
- 재생에너지 백업비용은 합리적이고, 기술적으로 확보 가능한가?
- 풍력, 태양광 등 간헐성 자원 확대에 따른 단계별로 우리가 준비해야 할 내용은 무엇인가?

## 4차 산업혁명과 글로벌 전력산업의 변화



\* '전력망을 변화시키는 신기술'(세계경제포럼, '17.3월) 재구성

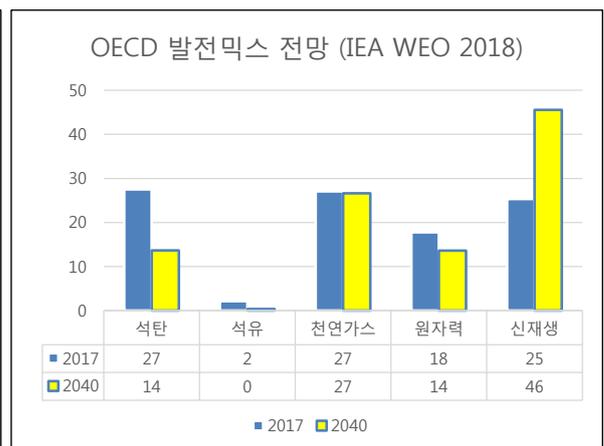
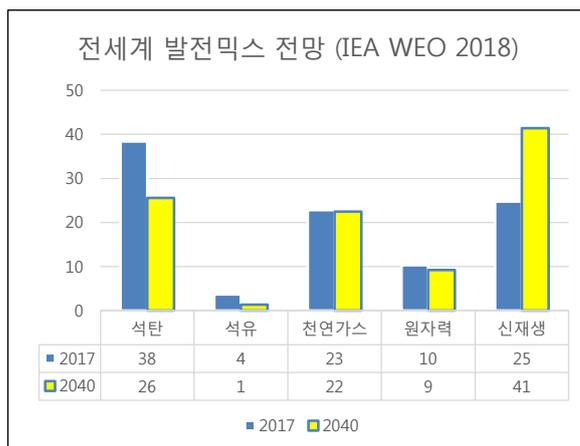


- 기존 전력시스템에 포함되지 않는 전력량계 하단에 소비자가 태양광, ESS 설비 등을 설치.
- 전력을 거래하는 BTM(Behind-The-Meter 또는 Beyond-The-Meter) 시장 성장

- 2 -

## 글로벌 발전설비 투자 동향 및 전망

- 2040 전세계 및 OECD 발전믹스 전망 (IEA, WEO 2018의 NPS)



- 2040년 전세계 신재생(수력) 비중 : 41% (15%)
- 2040년 OECD 신재생(수력) 비중 : 46% (14%)
- 전세계 2017년 신규 투자 현황 (신재생은 주력 투자 산업)
  - 태양광 97GW, 풍력 48GW, 석탄화력 65GW, 천연가스 56GW, 원자력 3.3GW

- 3 -

## 유럽(EU) 전력시장의 동향과 전망 (1)

### • 유럽(EU) 2020, 2030, 2050 계획

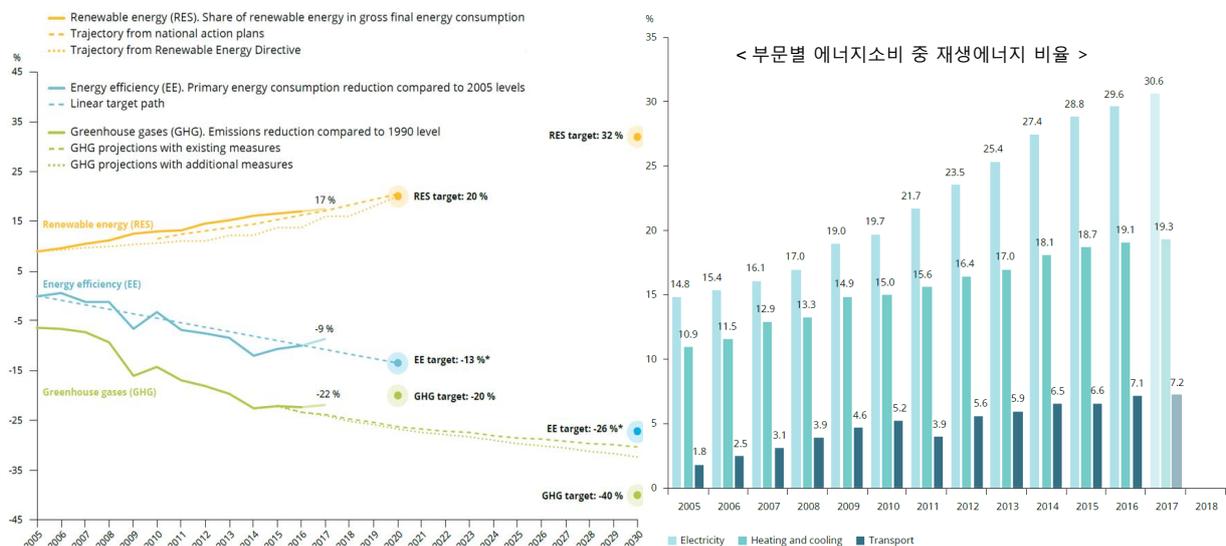
- 2009년 EU 에너지및기후 단기전략 '2020 climate & energy package' 발표
  - 온실가스 배출량을 1990년 대비 20% 감소
  - EU 에너지 사용량 20% 재생에너지로 사용 (최종에너지)
  - 에너지 소비 효율 20% 개선
- 2014년(2018년) EU 중기전략으로 '2030 climate & energy framework' 발표
  - 온실가스 배출량을 1990년 대비 40% 감소
  - EU 에너지 사용량 30% 재생에너지(최종에너지) 사용과 석탄발전소 폐지
  - 에너지 소비 효율 32.5% 개선
  - EU 역내 발전량 15%의 국가 계통연계(interconnection)
- 2011년 'A Roadmap for moving to a competitive low carbon economy in 2050' 발표
  - 온실가스 배출량 1990년 대비 80-95% 감소
- 에너지시장 탈규제, 배출권 거래제도, 국가간 재생에너지 거래 확대, 에너지 효율 등을 통하여 달성

- 4 -

## 유럽(EU) 전력시장의 동향과 전망 (2)

### • EU 저탄소 에너지정책 추진 현황

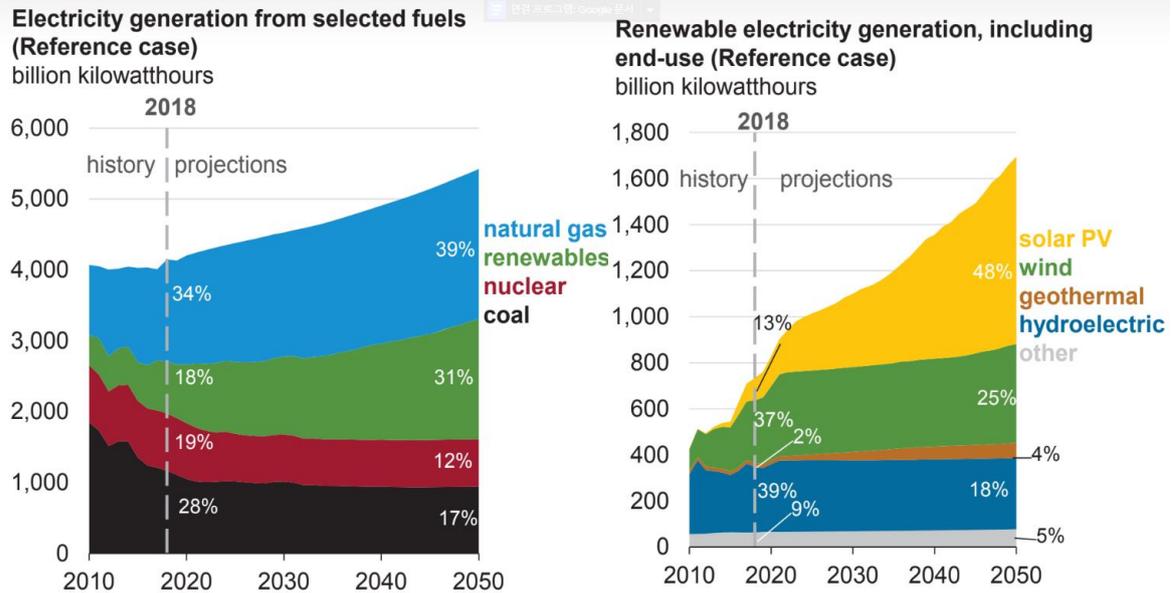
- 최종 에너지소비 재생에너지 비중 2017년 기준 17%
  - 전력분야 재생에너지 비중 30.6% 기록하여 2005년 이후 계속 높은 비율을 유지
  - 에너지 효율향상은 2005년 대비 2017년 현재 9% 달성
  - 온실가스의 경우 1990년 대비 2017년 현재 23% 감축함으로써 2020년 목표 달성



- 5 -

## 미국 전력시장의 동향과 전망 (1)

- 재생에너지와 천연가스 중심 에너지믹스 변화 (EIA AEO2019)



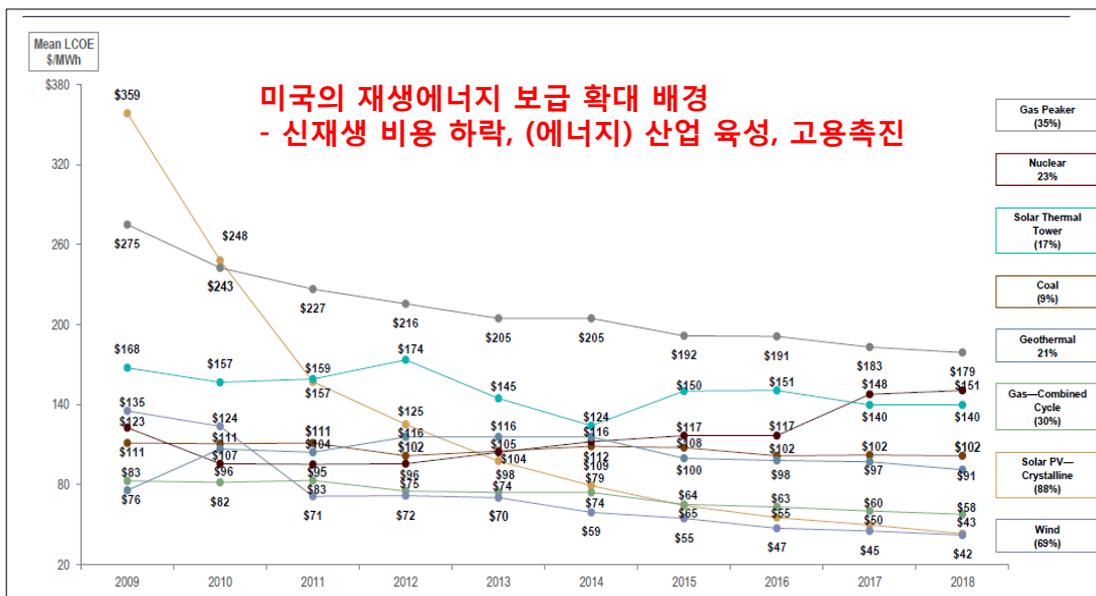
➢ 2018년 전원구성 : 천연가스(34%), 석탄(28%), 원자력 (19%), 신재생(18%)

➢ 2050년 전원구성 : 천연가스(39%), 석탄(17%), 원자력 (12%), 신재생(31%)

- 6 -

## 미국 전력시장의 동향과 전망 (2)

- 미국 전원별 균등화발전비용(LCOE) 추이와 신재생의 비용경쟁력 (보조금, 백업비용, 환경비용 미포함)



\* 출처: LAZARD (2019)

- 7 -

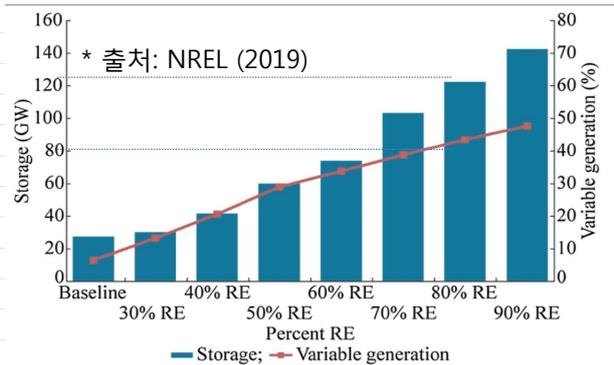
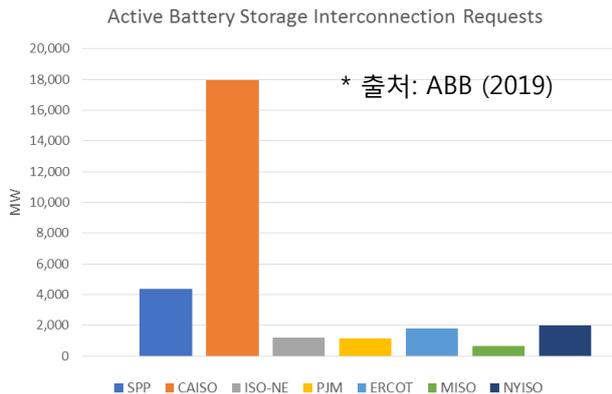
## 미국 전력시장의 동향과 전망 (3)

- 캘리포니아 등 신재생 보급이 급격히 진행되는 주는 전력저장장치(ESS 등)의 적극적인 보급과 제도 개선을 통한 간헐성 관리 (현재 1GW ESS 보급 실적)

### 미국 ESS 보급 정책

- FERC & ISOs removing regulatory barriers to storage participation in wholesale markets – FERC Order 841
- 30% ITC for residential & utility storage
- California most important state, 1.3 GW mandated by 2020 (Residential TOU, 2019)
- New York has energy storage target of 1.5 GW by 2025
- PJM Frequency Response Market – Reg D Signal

<RE, VRE 보급에 따른 필요저장 용량 평가>



재생에너지 80%, 변동성 재생에너지 50%, 필요 에너지저장장치 120GW

## 일본 에너지시장 자유화와 에너지 전환 (1)

- 일본 에너지시장(전기, 열, 가스) 자유화와 전원믹스 전망

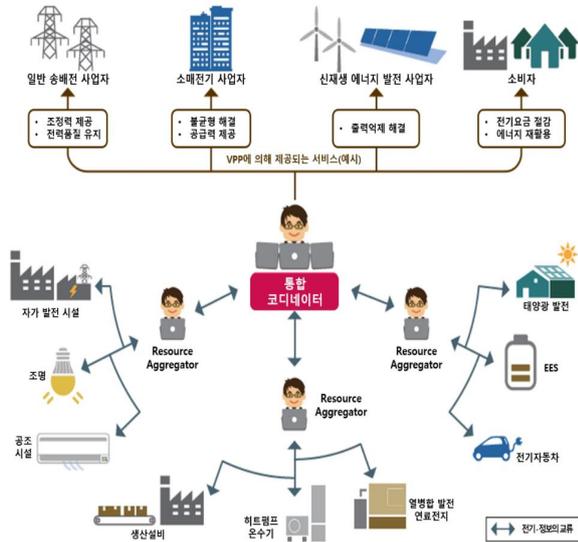


구분	3차 예기본 ('10년)	4차 예기본 ('14년)	5차 예기본 ('18년)
화력	30%	50%	50%
신재생	20%	22~24%	22~24%
원자력	50%	20~22%	20~22%

- 전기, 열, 가스의 동시 규제 완화
- 신규판매사업자 점유율 증가 (12%, 2017)
- 전기, 열, 가스, 통신 융합사업자 시장 진출 주도적 역할
  - \* 2018년 578 사업자 등장
  - 동경가스 (가스)
  - KDDI (통신)
  - 오사카 가스 (가스)
  - 소프트뱅크 (통신)
  - JXTG Energy (오일) 등

## 일본 에너지시장 자유화와 에너지 전환 (2)

- 일본 에너지시장의 신기술 기반 Aggregator(VPP) 활성화와 변동성 자원 분산 관리



<일본 전력 시장에서의 Aggregator의 역할>

Aggregation Coordinators

TEPCO 関西電力 SB Energy ENERES LAWSON azbil

Resource Aggregators

NEC ONE 에너지-株式会社 FAMILNET JAPAN 東京電力パワーグリッド 株式会社 東光通岳 三井物産株式会社

NTT SMILE ENERGY ELIY Power SHARP KYOCERA 住友電工 DAIHEN

Panasonic Fukushima 三菱商事 YOKOGAWA GLOBAL ENGINEERING enesys

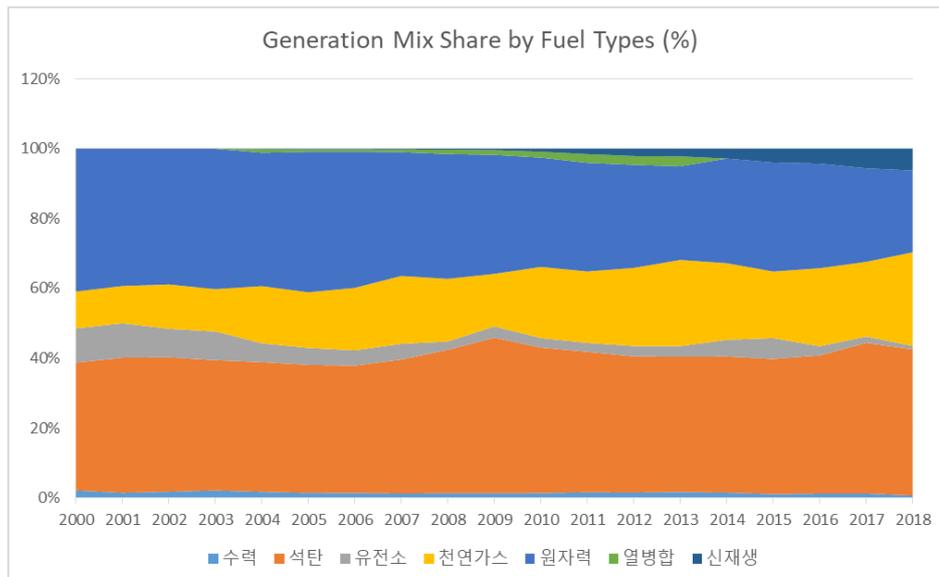
NTTファシリティーズ OSAKI SEKISUI TEPCO EFFICIENT LOOP

地域電力 SANIX スマートテック TMEiC MEDIOTEC KDDI

<주요 Aggregation 사업자>

## 에너지원별 발전량 비중 추이

- 우리나라 에너지원별 발전량 비중 (2000-2018)



- 과거 20년 동안 에너지믹스의 변화 (2000년, 2018년)  
원자력 : 41% → 23%, 석탄 37% → 42%, 천연가스 11% → 27%, 유전소 : 10% → 1%, 신재생 0% → 6%  
(기저비중 78% → 60% 감소. 동기간 동안 원자력 비중 감소. 현재 석탄 비중 과다)

## 8차 전력수급기본계획 믹스 전망

### • 8차수급의 2030년 발전부문 믹스 전망

구분	원자력	석탄	LNG	신재생	기타	계
'17년	30.3%	45.4%	16.9%	6.2%	1.3%	100%
'30년 (8차 목표 시나리오)	23.9%	36.1%	18.8%	20.0%	1.1%	100%
'30년 (BAU 시나리오)	23.9%	40.5%	14.5%	20.0%	1.1%	100%

- 8차 목표 시나리오 : 환경비용 반영 급전, 발전연료간 세제조정 반영
- BAU(Business As Usual) 시나리오 : 현재 전력시장제도 기준, 연료비는 '17년 기준

## 재생에너지 3020 계획과 소규모 재생에너지 확대

### • 3020 계획과 소규모 배전망 접속 재생에너지 확대

< 8차 전력수급계획 발전설비 보급전망 >

연도	구분	원자력	석탄	LNG	신재생 (단위 : GW)			석유	양수	계
					태양광	풍력	그외			
2017	용량	22.5	36.9	37.4	5.0	1.2	5.1	4.2	4.7	117.0
	비중	19.3%	31.6%	31.9%	4.3%	1.0%	4.4%	3.5%	4.0%	100%
2030	용량	20.4	39.9	47.5	33.5	17.7	7.3	1.4	6.1	173.7
	비중	11.7%	23.0%	27.3%	19.3%	10.2%	4.2%	0.8%	3.5%	100%

### • 사업용 태양광 설비용량 증가 (단위 : MW)

(전체) 1,080('13)→1,791('14)→2,538('15)→3,716('16)→5,062('17)→7,130('18)→9,090('19.9)  
 (≤1MW) 676('13)→1,139('14)→1,645('15)→2,661('16)→3,651('17)→5,386('18)→7,065('19.9)

※ 전력통계정보시스템 및 전력거래소 자료

- 소규모 태양광 설비 확대 가속화에 따른 배전망 관리 및 운용 점차 어려워질 것으로 예상. 향후 소규모 태양광·풍력 등 재생e 자원 관리 대책 최우선 필요

## 재생에너지 보급 실적 (2018)

- 재생에너지 발전실적 ('18년 신재생 8.77%, 재생 8.18%, 변동성 2.0%)

구	분	2017		2018p		전년대비 증감		기여도 (%)
		발전량	비중(%)	발전량	비중(%)	발전량	증감률(%)	
총	발	577,335,572	100.00	593,638,503	100.00	15,505,281	2.82	-
	신 재생 에너지	46,623,321	8.08	52,052,217	8.77	5,428,896	11.64	100.00
	재 생 에 너 지	43,868,299	7.60	48,585,263	8.18	4,716,964	10.75	86.89
	신 에 너 지	2,755,022	0.48	3,466,954	0.58	711,932	25.84	13.11
재	태 양 광	7,056,219	1.51	9,338,039	1.57	2,151,880	30.5	39.6
	풍 력	2,169,014	0.47	2,464,879	0.43	295,865	13.6	5.4
	수 력	2,819,882	0.60	3,374,375	0.65	554,492	19.7	10.2
	해 양	489,466	0.10	485,353	0.09	△4,113	△0.8	△0.1
	바 이 오	7,466,664	1.60	8,697,600	1.67	1,230,936	16.5	22.7
	폐 기 물	23,867,053	5.12	24,354,957	4.68	487,904	2.0	9.0
	연 료 전 지	1,469,289	0.32	1,764,948	0.34	295,659	20.1	5.4
신	I G C C	1,285,733	0.28	1,702,006	0.33	416,272	32.4	7.7

- 14 -

## 신재생에너지 보급 확대 계통 영향 (1)

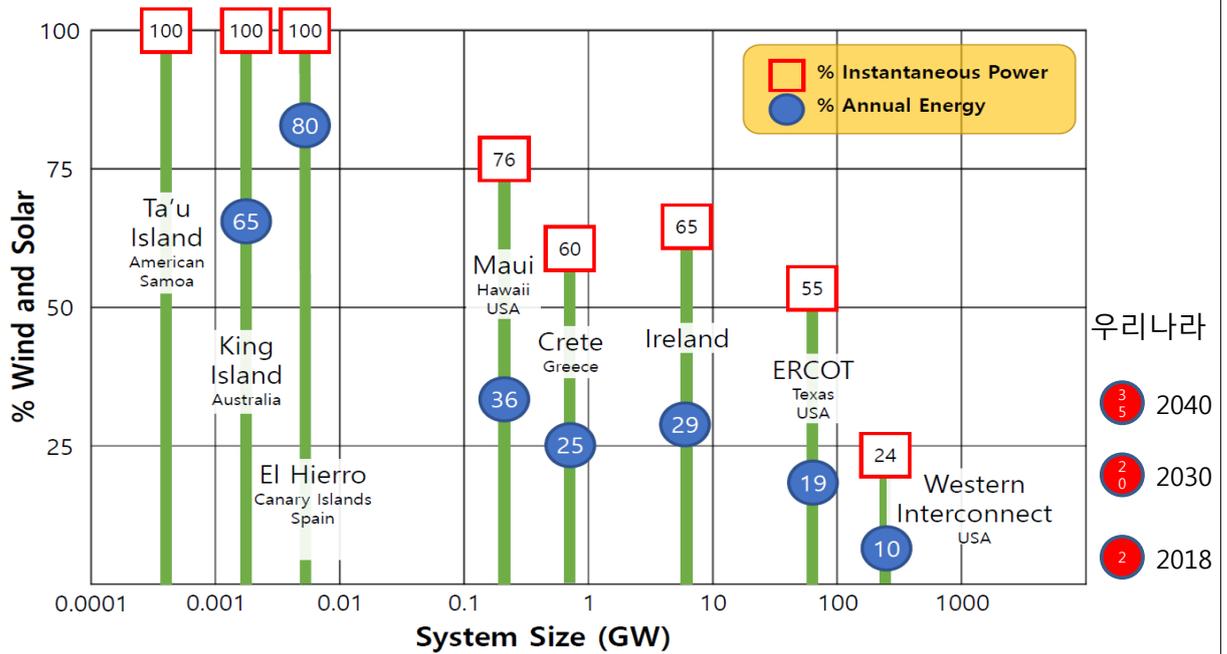
- 2040년 신재생 확대에 따른 부하 및 급전 영향



- 15 -

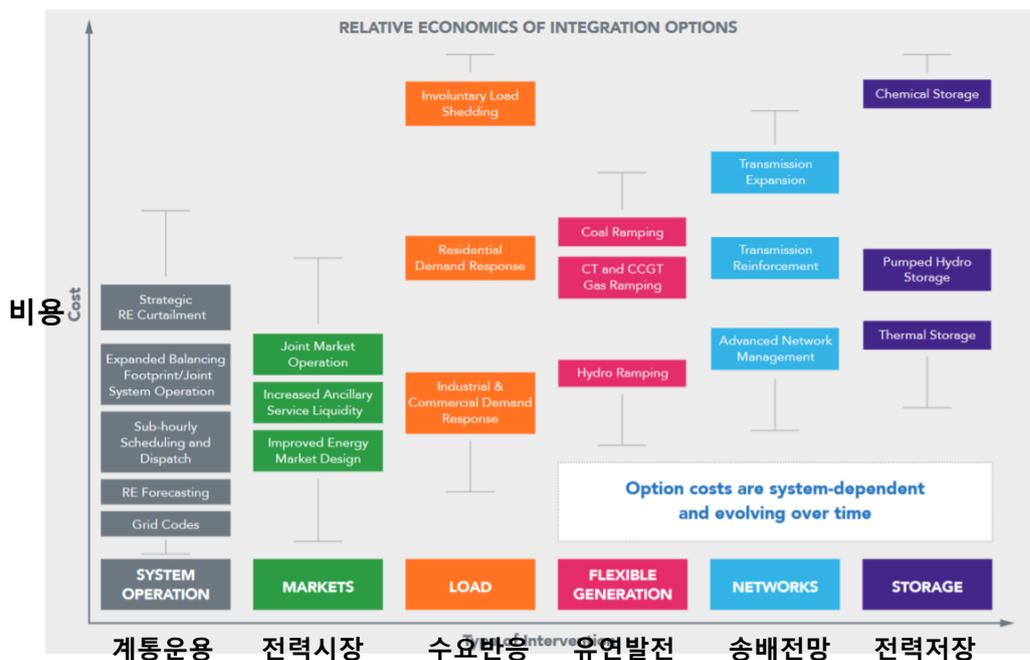
## 신재생에너지 보급 확대와 영향 (2)

- 변동성 재생에너지 비중 국제 비교



## 유연성 확보 수단과 경제성 순위

- NREL의 유연성 수단과 백업 자원 평가 사례 (2015)



## 도매전력시장(CBP) 선진화를 통한 유연성 확보

- 통합 다중전력시장제도 단계적 도입

구분	장기계약시장		현물시장		실시간 밸런싱시장	AS시장
	선도시장	선물시장	하루전시장	당일시장		
미국	○	○	○	○	○	○
유럽	○	○	○	○	○	○
한국	X	X	○	X(○)	X(○)	△(○)

- 유연성 자원(공급측, 수요측)의 가치 반영 가격결정체계 구축
- 에너지시장 및 보조서비스 시장의 단계적 선진화
- 소규모 중개사업 육성 및 신재생 예측시스템 선진화

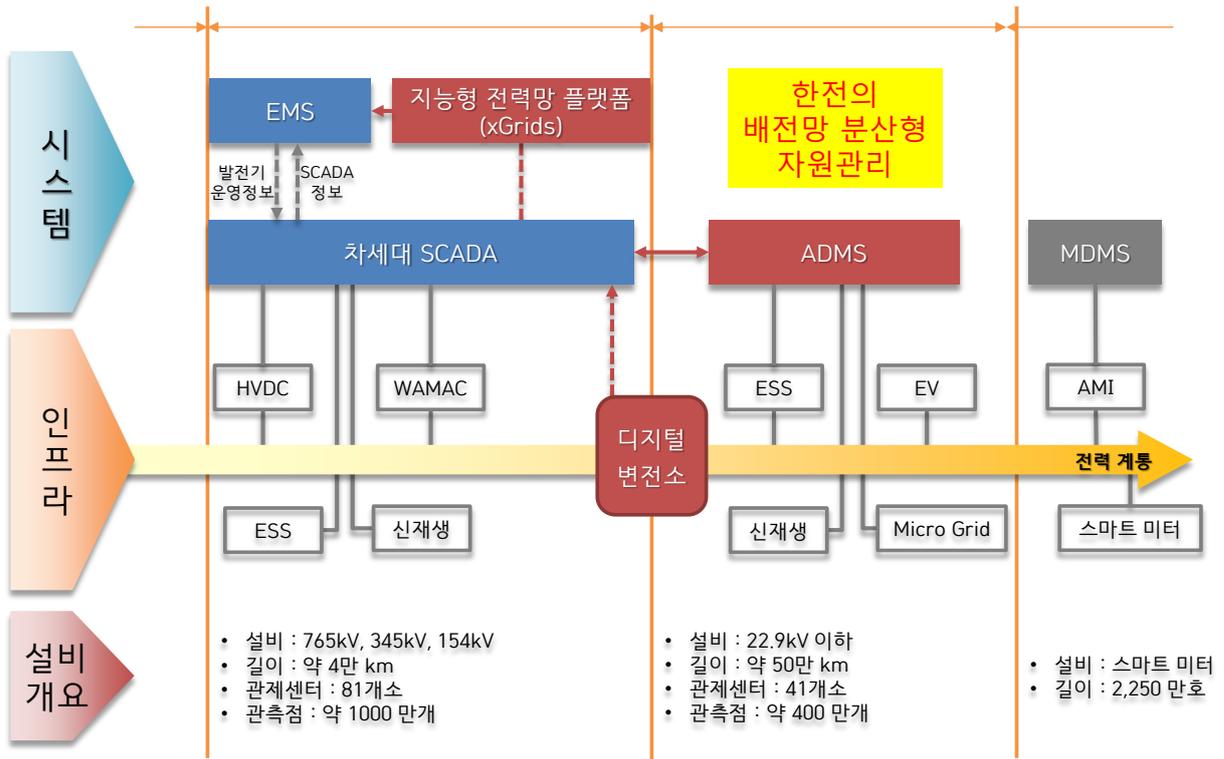
- 18 -

## 전력계통 운용 유연성 확보 방안

- 단계별 계통운용 선진화 방안 (유연성 확보)
  - (1단계) 운영예비력 중 주파수제어예비력의 재조정
  - (2단계) 재생에너지 발전량 예측 정확도 제고 및 예측 주기 단축, 당일 및 실시간 시장 도입을 통한 발전계획 주기 단축
  - (3단계) 기존 유연성 자원의 활용 외에 혁신적인 전력저장, 전력계통 연계, 통합에너지 시스템 구축
- 한전의 배전망(DSO) 관리 시스템 조기 구축
  - 배전망 자원관리(ADMS), 배전망 증설, 변전소 증설, 송전망 증설
- 한전의 배전계통, 한전 SCADA 및 거래소 EMS 단계적 결합

- 19 -

# 국가 전력망 시스템의 개선 방향



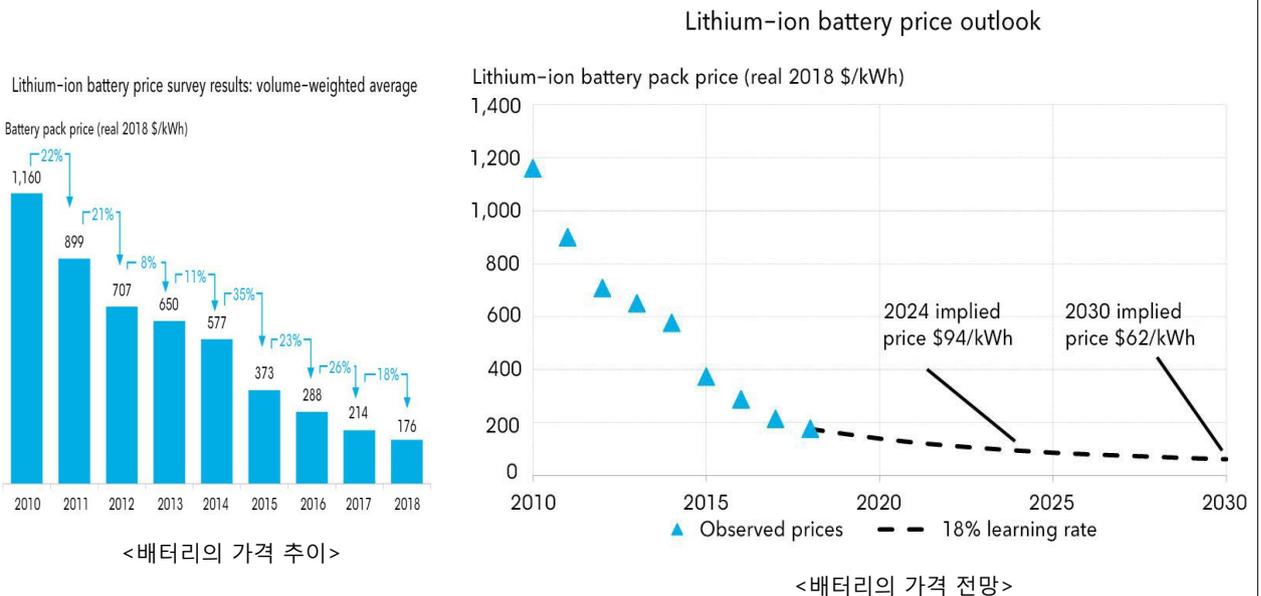
\* SCADA : Supervisory Control And Data Acquisition  
MDMS : Meter Data management System

- 20 -

ADMS : Meter Data Management System  
xGrids : eXtensible Power GRID management platformS with intelligence

# 에너지저장장치의 기술개발과 계통 도입

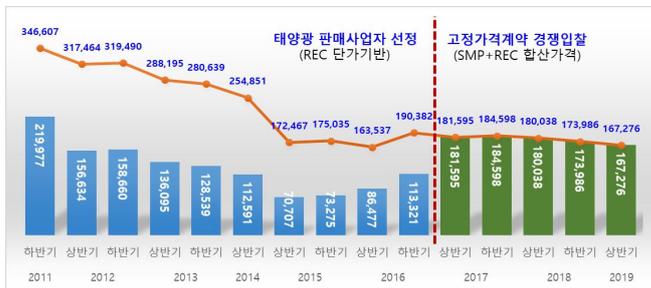
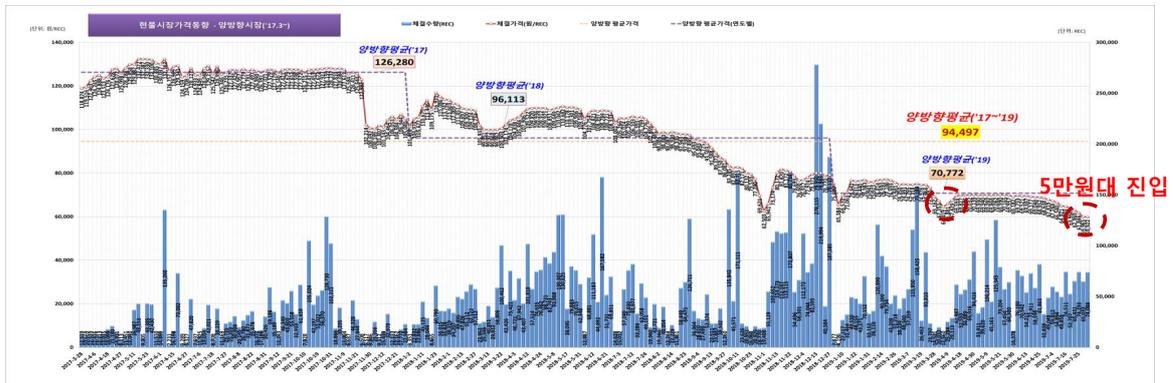
## 리튬-이온 배터리 가격하락 추이 (Bloomberg)



- 21 -

# 신재생에너지 최근 가격 추이

## • 신재생에너지 현물 및 태양광 고정가격계약 수준의 하락



- REC 현물가격의 하락 (최근 5만원/REC 수준까지 하락)
- 고정가격계약의 지속적 하락

\* 기술개발, 공급 확보 등으로 신재생 가격 지속적 하락  
 \* 전기소비자 편익 증대, 신재생사업자 위험 증가 → 소비자 공급자 균형 정책 필요

# 논의 주제

- 재생에너지 확대가 필요한가?
- 국내에서 재생에너지 확보는 가능한가?
- 재생에너지 비용은 경쟁적인가?
- 재생에너지 백업비용은 합리적이고, 기술적으로 확보 가능한가?
- 풍력, 태양광 등 간헐성 자원 확대에 따른 단계별로 우리가 준비해야 할 내용은 무엇인가?

## 결론 및 제언

---

- 깨끗하고 안전한 전력시스템 위해서 (신)재생에너지 확대 보급은 필수
  - 기술력 확보와 산업생태계 구축, 국제적 수준의 비용 하락은 우리에게 주어진 최우선 도전 과제이자 숙제
- 체계적, 비용효과적 간헐성 극복 대안 확보 (제도, 기술)
  - 기관별(거래소, 한전, 에공단, 시장참여자) 역할 분담 및 비용효과적 유연성 확보 로드맵 구축
  - 정부 : 그리드 코드 제정 및 기관별 역할 부여, 모니터링
  - 한전 : 배전망 접속 소규모 태양광 배전망관리시스템(ADMS) 조기 구축 시급 (신규 송배전망 건설, 신규 변압기 및 변전소 증설 등 최소화)
  - 거래소 : 송전망 연계 대규모 신재생 관리시스템(예측, 관리 및 제어) 조기 구축 및 도매전력시장(에너지,보조서비스) 인프라 개선
  - 에공단 : 신재생 보급 및 모니터링, 통계, 계획 입지 등 인프라 구축
  - 시장참여자 (Aggregator) : 신재생 집합자원 예측, 관리, 최적화
- 향후 전력시스템에서 가장 중요한 기술은 저장기술일 것이며, 이에 대한 우리나라의 적극적인 개발, 실증, 국내외 시장 보급 지원 필요



재생에너지 간헐성 해소와 계통 유연성 확보의 핵심 난제와 해법

## 제6회 에너지전환 테크포럼

옥기열 팀장 (전력거래소)

제주 재생에너지 보급과  
계통운영 이슈로 본 시사점과 대응방안

**KEFEP**  
한국에너지기술평가원



# 제주 재생에너지 확대에 따른 계통운영 이슈 및 대응방안

2019. 10. 29

전력거래소  
시장계통개발처 계통개발팀장  
옥기열 (061-330-8650, okkil@kpx.or.kr)

## 목 차



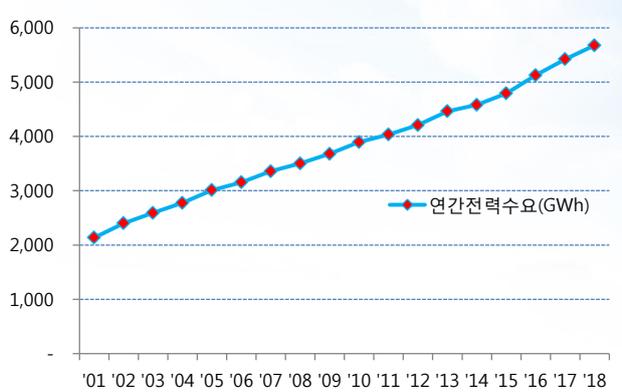
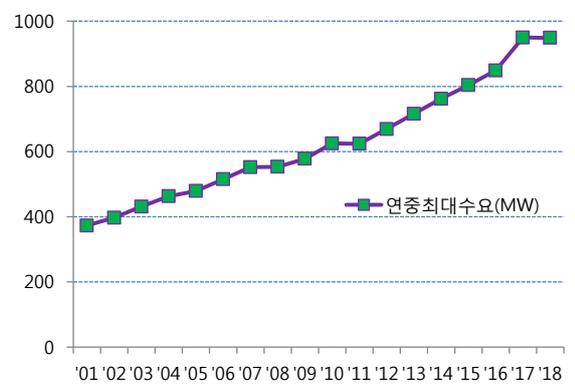
- 1 제주 신재생 현황
- 2 가시성 이슈 및 대응방안
- 3 유연성 이슈 및 대응방안
- 4 안정성 이슈 및 대응방안

# 1 제주계통 신재생에너지 현황

## 1. 제주 신재생에너지 현황

### ◆ 전력 수요

- '01~'18년간 연간 최대전력 증가율은 6.1%(전국 4.7%)
- '01~'18년간 연간 전력사용량 증가율은 6.0%(전국 4.5%)

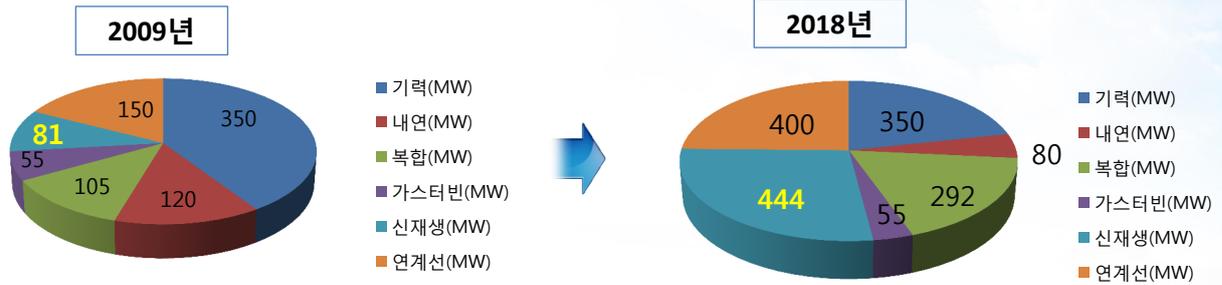


# 1. 제주 신재생에너지 현황



## 발전설비

- '09년 대비 신재생에너지 설비는 5.5배 증가(81MW → 444MW)
- 설비비중으로 보면 '09년 대비 2.9배 증가(9.4% → 27.4%)



# 1. 제주 신재생에너지 현황



## 신재생설비 확대 추세

- '03년 매립가스 2MW를 시작으로 신재생 확대 정책에 힘입어 '09년 이후 급증

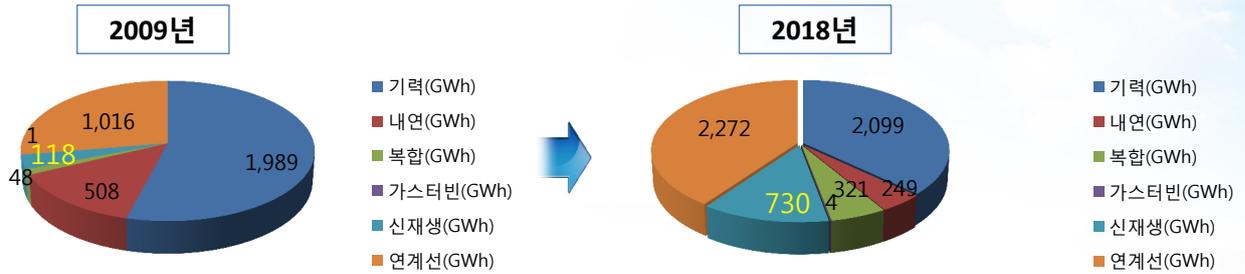


# 1. 제주 신재생에너지 현황



## 전원별 발전량

- '09년 대비 '18년 신재생 발전량은 6.2배 증가(118GWh → 730GWh)
- 전체발전량 기준 대비 발전비중은 3.2% → 12.9%로 증가



## 2 VRE 가시성 이슈 및 대응방안

## 2. 제주 신재생 계통운영 이슈 - 개요



“Getting Wind and Sun onto the Grid  
– a Manual for Policy Makers”, (IEA, 2017)

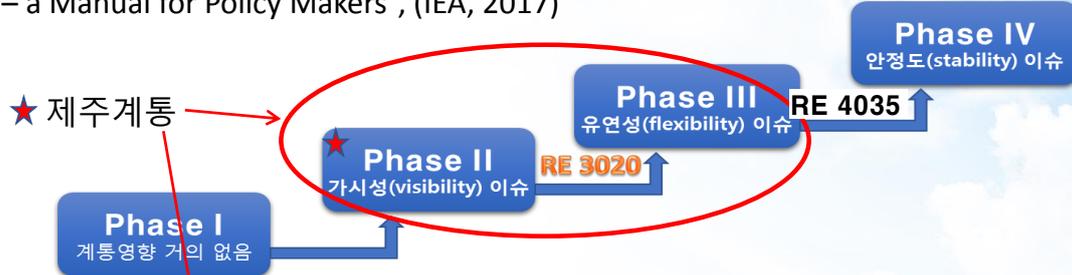
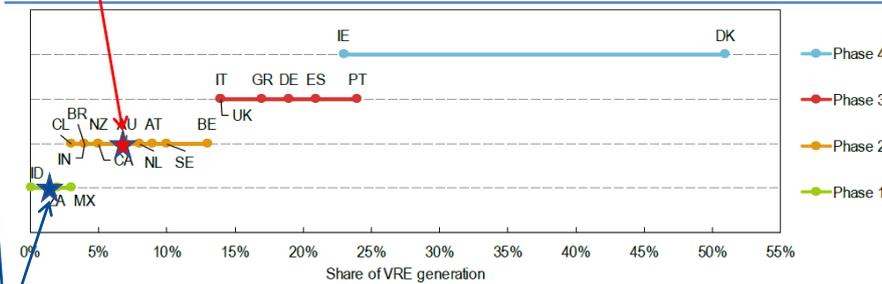


Figure 1 • Annual VRE generation shares in selected countries and correspondence to different VRE phases, 2015



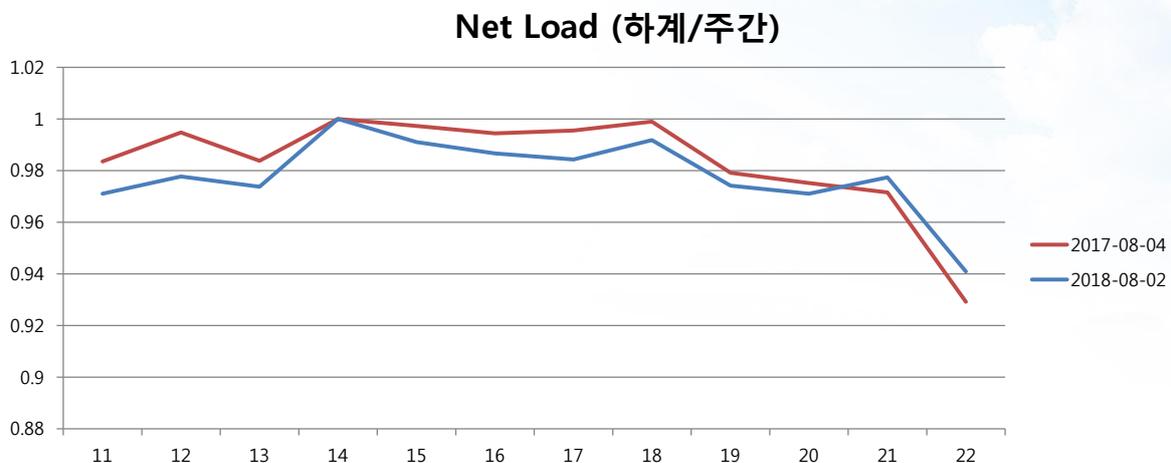
★ 전국계통

## 2. 제주 신재생 계통운영 - 가시성 이슈



### 가시성(Visibility) 이슈

재생에너지의 실시간 원격계측 미비에 따른 전력수요 착시 현상



## 2. 제주 신재생 계통운영 - 가시성 이슈



### ◆ 가시성(Visibility) 이슈

● 전력거래소(SO)가 Net-Load 분석을 위한 신재생 감시, 평가, 예측 어려움

☞ ① 대부분 태양광 설비는 배전선로(22.9kV)에 연계되어 전력거래소 EMS에 연계되지 않고, ② 신재생에너지는 원격감시제어 요건이 면제되어 있으며, ③ 전력시장 미참여 발전기(PPA 등)는 계통운영자인 전력거래소에 설비현황조차 미보고

☞ 신재생 설비가 보조금 지급방식 및 거래형태에 따라 전력거래소, 한전, 에너지공단, 지자체가 따로 관리

☞ 자가용 및 BTM 설비는 설비정보 및 출력정보가 전혀 관리되지 않음

11

## 2. 제주 신재생 계통운영 - 가시성 이슈



### ◆ 가시성(Visibility) 대책

#### ◆ 고시(전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준) 개정(안)을 통한 법적 근거 마련

- RE의 설비특성, 출력정보, 기상정보 등 자료제출 근거 마련
- 전력거래소와 송배전사업자는 RE를 감시, 예측, 평가 및 제어하도록 근거 마련
- 세부운영에 관한 사항은 전력시장운영규칙 및 송배전용 전기설비 이용규정에 위임

☞ 고시 개정(안)에 대한 규제심사 등 관련 절차를 종료하고, 조만간 공고 (10월)

#### ◆ 규칙(전력시장운영규칙) 개정(안)을 통한 RE의 세부운영사항 마련

- RE의 설비특성(static data) 및 출력·기상정보(real-time data) 자료제출 요건을 규정
- 전력거래소와 송배전사업자간 RE의 자료취득 및 출력제어에 관한 역할범위를 규정
- 전력거래소와 송배전사업자간 RE 정보공유를 위한 "정보공유시스템" 개발을 규정

☞ 규칙 개정(안)에 대한 의견수렴 등을 종료하였으며, 고시 공고 직후 개정 착수 (금년내)

12

## 2. 제주 신재생 계통운영 - 가시성 이슈



### ◆ 참고자료 - 국내 전력계통 기술기준 법적 체계



## 2. 제주 신재생 계통운영 - 가시성 이슈



### 규칙 개정(안) - Static data

풍력발전기 특성자료

	항 목	단 위	DATA	비 고
발전기 일반 자료	사업자명	Text		1MW 초과시 작성
	발전기명	Text		
	발전기 위치(주소)	Text		
	발전기 내 설비 배치도 및 단선도	Diagram/Text		
	발전기 운전시점	Date		
	계통연계모선	Text		
	연계모선전압	kV		
	연계선로 유형(송전선로/배전선로)	유형 선택		
	계약전력	kW		
	정격용량	kW		
터빈 특성 자료	터빈 개수	대		풍력연계형 ESS를 설치한 경우
	ESS 설치 여부	Yes/No		
	유형 구분(육지풍력/해상풍력)	유형 선택		
	터빈 호기별 위도, 경도, 해발고도	도(°), m		
	터빈 호기별 정격용량	kW		
	허브 높이(지면기준)	m		
	시동속도(Cut-in wind speed)	m/s		
	정격속도(Rated wind speed)	m/s		
	중단속도(Cut-out wind speed)	m/s		
	제작사	Text		
ESS (설치시)	설비용량	kW		20MW 초과시 작성
	최대/최소 방전용량	kW		
기 타 (20MW 초과시)	최대/최소 충전용량	kW		1MW 초과시 작성
	PMS 출력제어 특징	Text		
기 타	안정도 모의를 위한 제작사 제공 PSS/E 모델 Data Sheet	Text		20MW 초과시 작성
	기상자료취득특장치 위도, 경도 및 센서 높이 (풍향계속타워 또는 원격감지계측기)	도(°), m		

태양광발전기 특성자료

	항 목	단 위	DATA	비 고	
발전기 일반 자료	사업자명	Text		90kW 초과시 작성	
	발전기명	Text			
	발전기 위치(주소)	Text			
	발전기 내 설비 배치도 및 단선도	Diagram/Text			
	발전기 운전시점	Date			
	계통연계모선	Text			
	연계모선전압	kV			
	연계선로 유형(송전선로/배전선로)	유형 선택			
	계약전력	kW			
	정격용량	kW			
특성 자료	패널(모듈) 개수	대		ESS 설치 여부	
	인버터 개수	대			
	ESS 설치 여부	Yes/No			
	패널 (모듈)	정격용량	kW		
		제작사	text		
		모델명	text		
	인버터	온도계수	°C		
		변환효율	%		
		정격용량	kW		
	어레이	제작사	text		
모델명		text			
어레이 형식 (축류식/단축/양축), 고정식/고정가분식		유형 선택			
냉각장치 설치 여부		Yes/No			
경사각		도(°)			
ESS (설치시)	방위각	도(°)		태양광 연계형 ESS를 설치한 경우	
	설비용량	kW			
	최대/최소 방전용량	kW			
	최대/최소 충전용량	kW			
기 타	PMS 출력제어 특징	Text		1MW 초과시 작성	
	기상자료취득특장치 위도, 경도 (일사량계 및 외기온도계)	도(°)			
기 타	안정도 모의를 위한 제작사 제공 PSS/E 모델 Data Sheet	Text		20MW 초과시 작성	

## 2. 제주 신재생 계통운영 - 가시성 이슈



### 규칙 개정(안) - Real-time data

구분	제공 주기	제공 방법	구분	주요 제공 항목	
				풍력	태양광
1MW 초과 20MW 이하	1분	자료연계용 단말장치 수준 이상	공용망 또는 전용망	· MW 및 Mvar · available MW	· MW 및 Mvar · available MW
20MW 초과	4초	원격소 (RTU) 장치	전용망	· 풍속, 풍향 · 운전 중인 터빈 수	· 일사량, 주변기온

### 규칙 개정(안) - 제어 기준

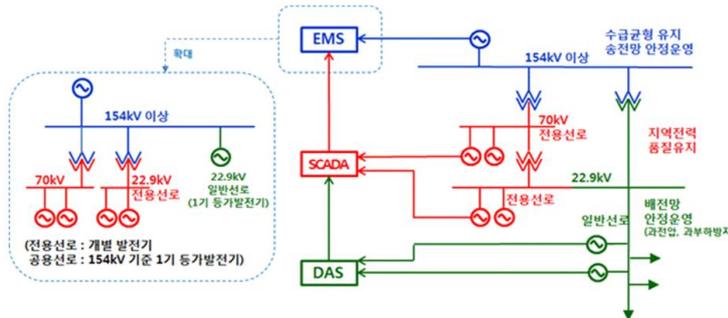
설비용량	제어장치	통신구분	제어주기	제어지시	구분
20MW 초과	원격소장치 (RTU)	전용망	필요시	목표출력 지시 (set-point)	원격제어
1MW 초과 20MW 이하	자료연계용단말장치 수준 이상	공용망 또는 전용망	필요시	출력상한 지시 (curtailment)	원격제어
90kW 초과 1MW 이하	자료연계용단말장치 수준	공용망	필요시	출력차단 지시	원격제어 * 검토중

15

## 2. 제주 신재생 계통운영 - 가시성 이슈



### 규칙 개정(안) - 협조체계 및 급전범위



### 규칙 개정(안) - 정보공유시스템 (Register + Portal)



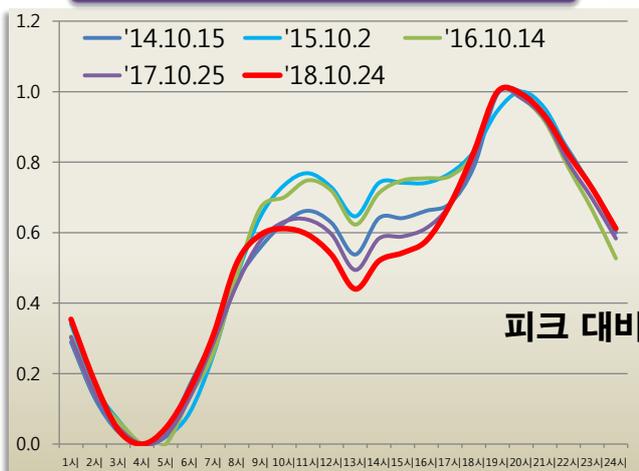
16

### 3 VRE 유연성 이슈 및 대응방안

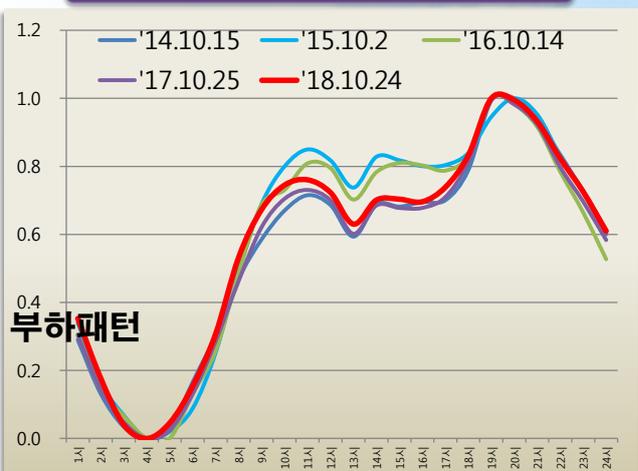
## 3. 제주 신재생 계통운영 - 유연성 이슈

#### 유연성(Flexibility) 이슈

미계량 태양광(PPA,가정용) 제외



미계량 태양광(PPA,가정용) 반영



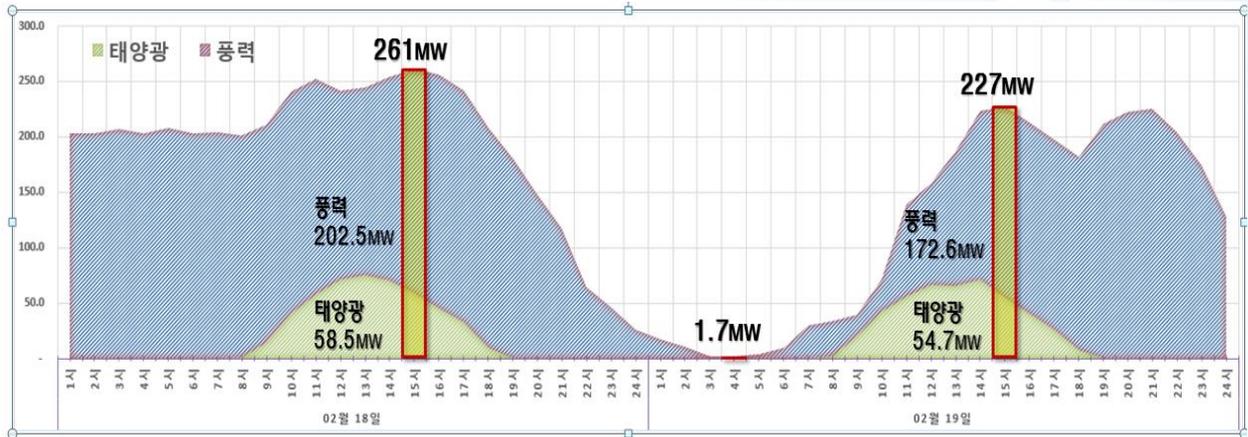
구분(MW)	2014년	2015년	2016년	2017년	2018년
전력시장(KPX)	48.3	71.6	88.1	120.6	168.9
PPA(한전)	4.3	4.3	4.4	4.9	16.5
가정용	9.7	12.5	16.0	18.3	30.0

### 3. 제주 신재생 계통운영 - 유연성 이슈



#### ▶ 재생에너지 불확실성 및 변동성

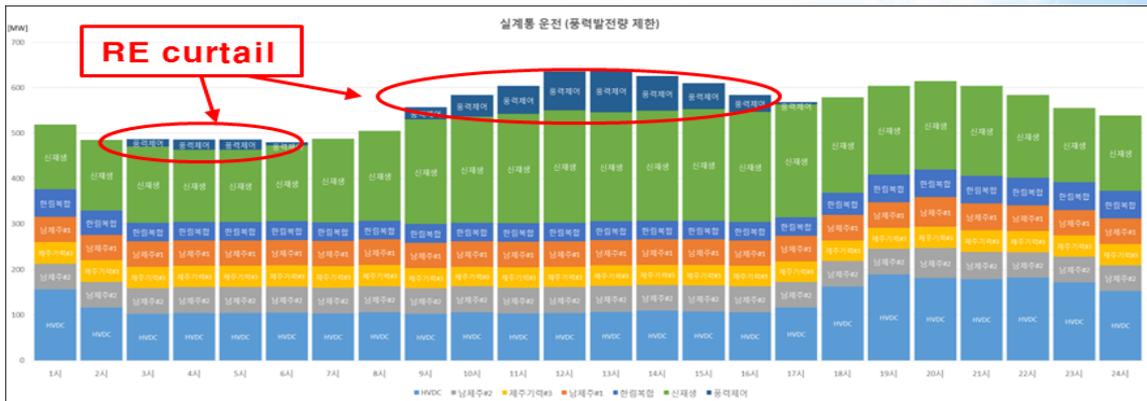
- 풍력발전출력이 태양광발전출력과 동일패턴을 형성하는 경우 출력변동(수급 불안정) 심화 [예시 '18.2.18 ~ 19]



### 3. 제주 신재생 계통운영 - 유연성 이슈



#### ▶ 풍력 출력제한 현황



구분(MWh)	풍력제어량(A, 횟수)	총 풍력발전량(B)	제약비중(A/B)	제약비용(백만원)
'16년	252 (6회)	470,576	0.05	45
'17년	1,301 (16회)	542,526	0.24	234
'18년	1,366 (17회)	540,073	0.25	246
'19년 1~4월	2,410 (11회)	231,923	1.04	434
'21년(전망)	21,626	584,099	3.70	3,893

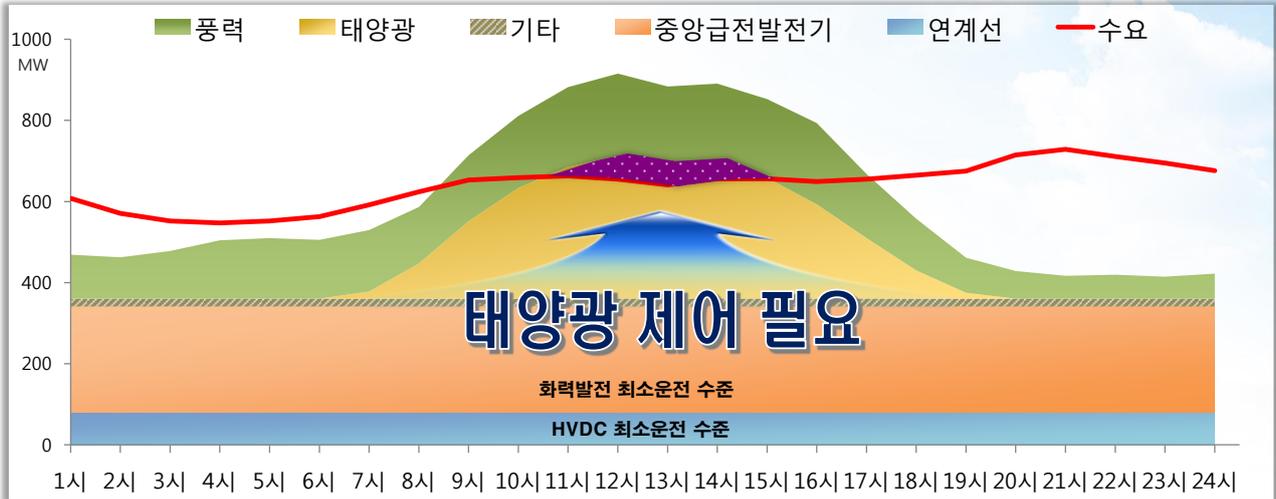
\* 제약비용 = 풍력제어량×1,000×180원/kWh(REC 장기계약 평균가격 적용)

### 3. 제주 신재생 계통운영 - 유연성 이슈



#### 태양광 출력제한 전망

태양광 설비 대폭 증가에 태양광 제어 필요 시점 발생('21년 예측)



### 3. 제주 신재생 계통운영 - 유연성 이슈



#### 유연성 대책 - VRE 예측시스템



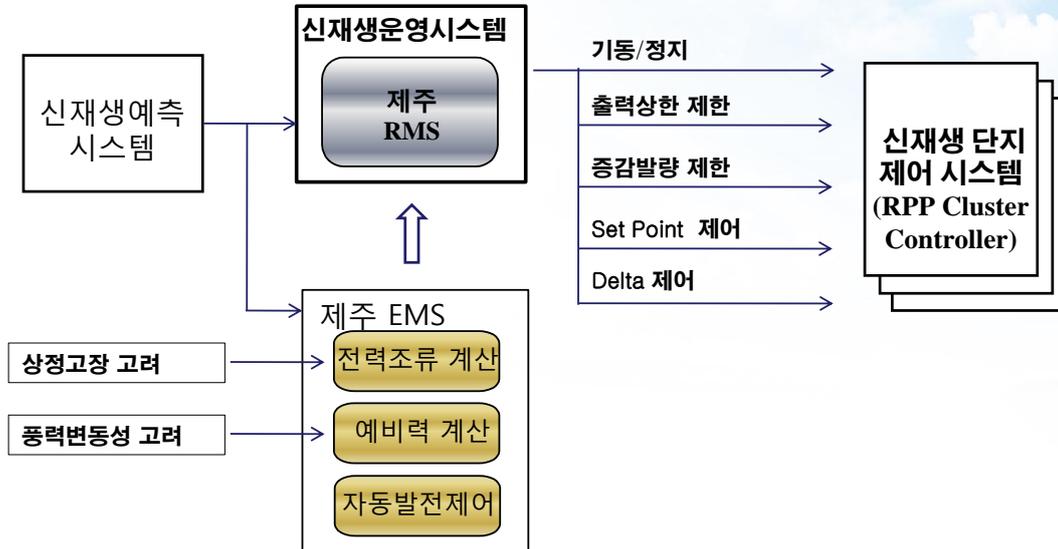
풍력발전 예측 오차율				태양광발전 예측 오차율			
연구기관(기업)	검증방법	설비용량	오차율	연구기관(기업)	검증방법	설비용량	오차율
VAISALA	NMAE	-	10%	NREL	RMSE	25MW ↑	15%
RenEn	NMAE	47MW	15.7%	Renewable Energy Research	MAPE	-	10.8%
AESO	NMPE	-	8.4%	VAISALA	MAE	-	5%
<b>전력거래소(제주)</b>	<b>NMAE</b>	<b>271MW</b>	<b>9.63%</b>	<b>전력거래소(제주)</b>	<b>NMAE</b>	<b>113MW</b>	<b>4.24%</b>

※ 검증기간 : 18년1월1일 ~ 5월14일 (검증결과와 실 운영결과는 외부요인(기상 및 계절변화 등에 따라 상이할 수 있음)

### 3. 제주 신재생 계통운영 - 유연성 이슈



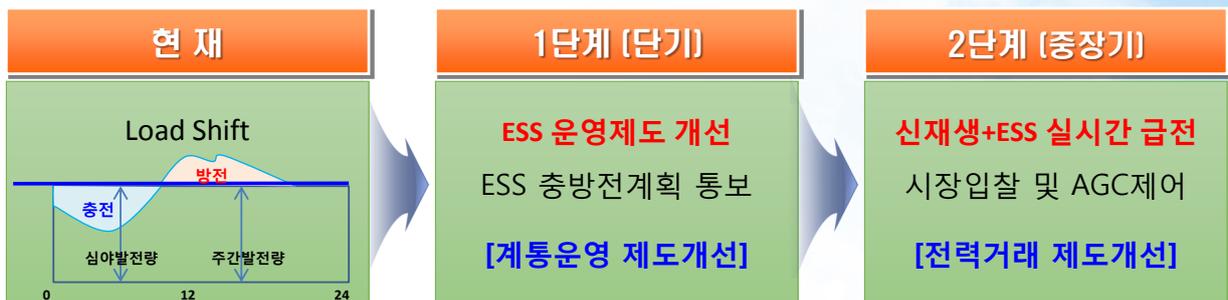
#### 유연성 대책 - VRE 원격제어



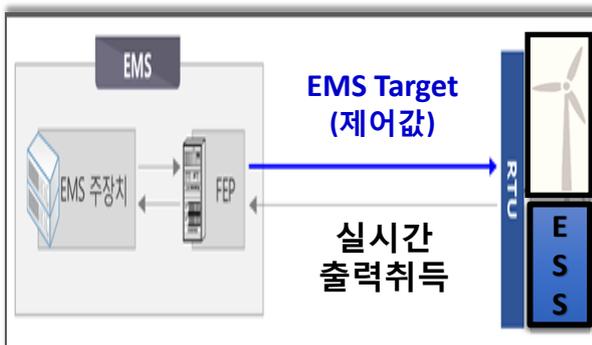
### 3. 제주 신재생 계통운영 - 유연성 이슈



#### 유연성 대책 - VRE+ESS 원격제어



#### ESS + 신재생 운영방안



#### RTU를 통한 풍력발전제어 실증사례

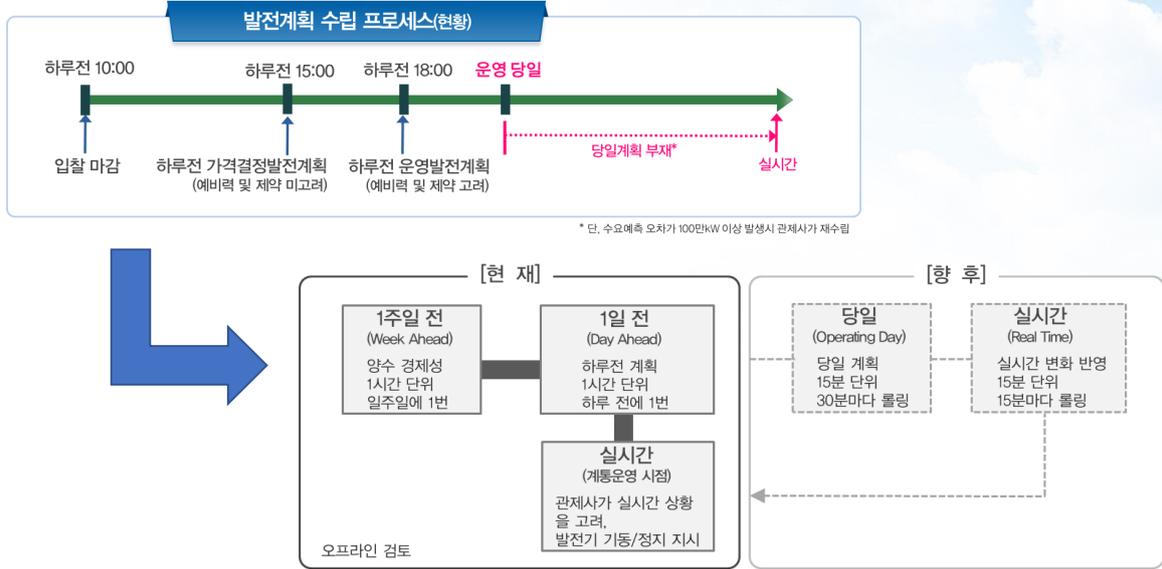


### 3. 제주 신재생 계통운영 - 유연성 이슈



#### 유연성 대책 - 통합운영발전계획

- (현행) off-line 하루전 발전계획 → on-line 다단계 발전계획('20년)



### 3. 제주 신재생 계통운영 - 유연성 이슈



#### 유연성 대책 - 제약기반 다중시장

- (현행) 하루전 에너지 시장 → 다단계 에너지/예비력 시장(검토중, '24년)
- 전국계통 차기 시장 도입에 앞서 제주 시범시장 도입 검토 중

현재	미래	KPX Action
DAUC	WAUC + DAUC+ITUC+RTUC	2020년 시스템 구현 완료
전일 수요예측	주간, 1일전, 당일, 실시간 수요예측	2020년 시스템 구현 완료
DA market	DA + ID + RT market	제도개선 필요
Energy+Capacity	Energy + AS + Capacity	제도개선 필요
RE 우선 급전	RE integrated market (RE 입찰의무화, 임밸런스 제도 등)	제도개선 필요
RE 예측 (WA, DA, RT)	RE 예측 (WA, DA, RT), (Ramping) (Including Self-Dispatcher)	사업용 원격계측 제도기준 마련 자가용/PPA 취득방안 검토 중

### 3. 제주 신재생 계통운영 - 유연성 이슈



#### ◆ 시장(계약포지션)과 실계통 (급전지시량) 괴리에 따른 가격기능 왜곡

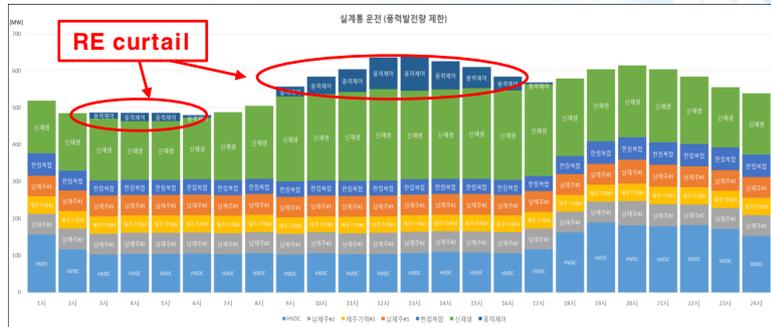
- ▶ 재생에너지 출력제한 보상문제 해소 및 P2G를 통한 재생에너지 수용성 확대 선결조건

#### ❖ 실계통 (운영계획)

- ▶ HVDC 최소운전량 + 화력 최소운전량 + 재생에너지 발전량이 전력수요를 초과

→ RE Curtail 시행

- ▶ 이론적으로 "0" 또는 마이너스 가격

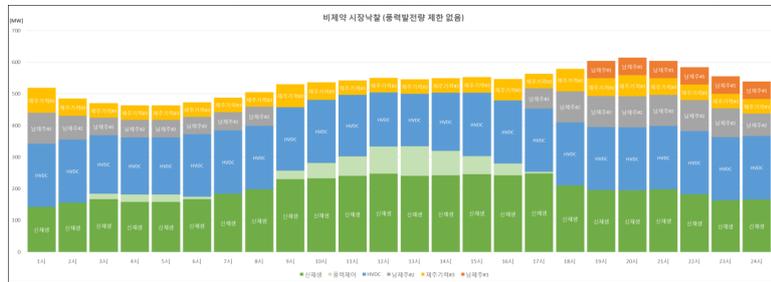


#### ❖ 전력거래 (가격계획)

- ▶ HVDC 및 화력발전 최소 운전량 등 계통제약의 미반영

→ RE curtail 미발생 처리

- ▶ 제주 화력발전기의 연료비가 시장가격



### 3. 제주 신재생 계통운영 - 유연성 이슈



#### 유연성 대책 - P2G 실증 (검토중)

- 제주지역 재생에너지 인출용량(육지 역송) 제한 → 재생에너지 수용한계를 확대
  - P2G : 잉여전력을 활용하여 수소연료 생산 → 생산된 수소를 가스계통에 저장 → 전기, 난방 등에 활용
  - (장점) 저장용량 1TWh, 저장기간 1개월~1년으로 전력수요(DER) 및 전력공급(VRE) 불확실성 해소 기대
  - (제약) 전력계통운영자와 가스계통운영자 간 급전체계 확립 필요, 기타 기술적 문제(가스혼합 비율) 등

<제주 3연계선 고려한 RE 수용한계량 (거래소 분석결과) >

연도	수요	재생e 계획량(b)	재생e 운전 가능량(a)	HVDC 역송 가능량	편차 (a-b)
2020	1,051	1,098	1,145	374	47
	717		866	429	-232
	511		694	463	-404
2022	1,111	1,777	1,195	364	-582
	758		900	422	-877
	540		718	458	-1,059
2024	1,161	1,976	1,237	356	-739
	792		929	417	-1,047
	564		738	454	-1,238

## 4. 제주 신재생 계통운영 - 안정성 이슈



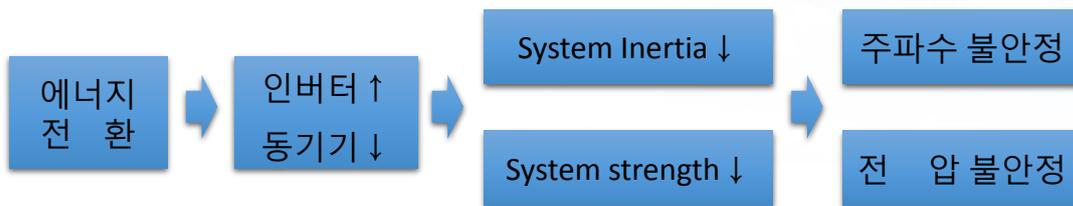
### ◆ 에너지 전환에도 불구하고 AC 계통은 유지될 전망

✓ DC의 변압 문제, DC 고장전류 차단 문제, 산업용 모터 부하(회전자속 필요)

### ◆ 근원적 이슈 → 회전관성(system inertia) 및 강건성(system strength)

✓ (회전관성) 동기발전기 감소 → 회전관성 부족 → 주파수 및 위상각 안정도

✓ (강건성) 동기발전기 감소 → 단락용량 부족 → 전압 불안정 및 전력동요



### ◆ 현단계의 계통운영 현안은 아니지만 선제적 분석 및 대책 마련 필요

29

## 4. 제주 신재생 계통운영 - 안정성 이슈

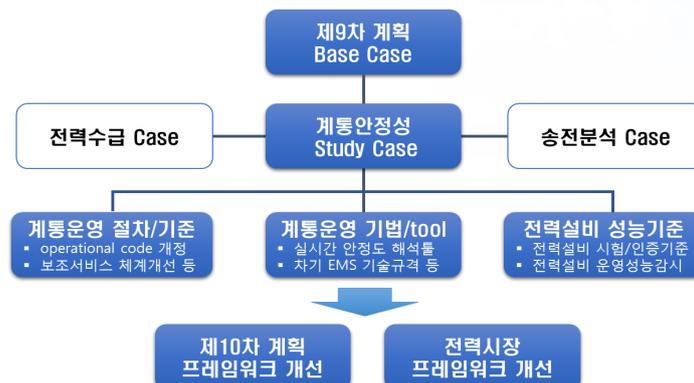


### ◆ 에너지 전환을 위한 대응노력은 지속적 과제

- (가시성 이슈) 자가용, 일반용(rooftop PV) RE에 대한 제도적 근거 및 관리체계 마련
- (유연성 이슈) 급전시스템(RE 예측, 온라인 UC)의 고도화, 유연성에 대한 인센티브 제고 등
- (안정성 이슈) 제9차 계획에 의거 다양한 계통스터디 및 대응전략 강구, 제10차 계획 환류 등

### ◆ 중장기 계통운영 전망 및 전환기 대응전략 마련

- 제9차 전력수급계획 및 송변전계획의 Base case를 바탕으로,
- 계통스터디 및 전략프로그램 추진에 관한 로드맵 마련, 추진 ('20~'23)



30

## 5. 계통운영 기술개발 방향



### ◆ 분산형 재생에너지 관제 방안

→ 태양광 스마트 인버터 보급 및 비용효과적인 통신방안 마련

### ◆ 국가 재생에너지 관리체계 구축

→ 자가용의 설비등록 및 관제에 대한 법적 근거 마련

→ 정보공유시스템 확산 및 관제시스템(micro grid-DMS-SCADA-EMS) 연계

### ◆ 재생에너지 관제를 고려한 차세대 EMS 고도화

→ 시각동기위상장치(synchronous phasor) 설치 확대 및 EMS 응용기능 구축

→ 재생에너지 불확실성 및 변동성을 고려한 시각화 및 의사결정 tool

→ 재생에너지 변동성을 고려한 실시간/온라인/look-ahead 안정도 분석

### ◆ 재생에너지(인버터)의 주파수 및 전압제어 능력 확충

→ 주파수 및 유효전력 제어, 전압 및 무효전력 제어, ride-through 기술

→ 합성관성 기술 및 grid forming 기술

### ◆ DC그리드 운영기술 확충

→ 재생에너지가 밀집된 육상/해상 DC그리드 도입전략 및 운영기술 개발

31



재생에너지 간헐성 해소와 계통 유연성 확보의 핵심 난제와 해법

## 제6회 에너지전환 테크포럼

곽 은 섭 계통연계부장 (한국전력공사)

패널논제

**KEIEP**  
한국에너지기술평가원



## [주제1] 재생에너지 중심의 전력계통, 어떻게 실현할 것인가 ?

### 1. 재생에너지(태양광, 풍력) 확대 시 계통현안

(접속, 수용성 확대) 효율적 설비보강과 더불어 기존 인프라 활용방안 수립  
 (변동성전원) 신재생발전의 전력계통 수용한계 분석, 수용확대 방안 수립  
 (독립계통) 독립계통 특성 반영, 다소 엄격한 계통해석과 설비보강 필요성  
 (수급불균형) 기존전원과 유사하게 수도권 수급 불균형 심화 가능성  
 (주파수·전압유지) 출력변동 대응 주파수조정 자원부족, 전압유지 문제  
 (실시간 운영) 실시간 계량, 예측, Flexibility 제공 독자모델 구축(기관간 모델경쟁)  
 (관성저하) 계통관성 저하에 따른 발전력 확충, 특정지역에 동기조상기 필요성  
 (유연성 확보) 변동성전원 확대와 더불어 계통의 유연성 확보 대책 필요  
 (DC 설비 확대) 송전망, SC-ESS, STATCOM, 지역간 소규모 HVDC 확대  
 (제도개선) 전원구성, 신재생 관련제도(신뢰도 기준, 이용규정, 접속절차 등)

- 신재생발전 관련 신뢰도기준~수급계획~이용규정 간 정합성 확보
- 원별특성에 맞는 명확한 발전설비 성능 요구기준 (Connection Code)
- 상정고장, 실효용량, 계통보강 기준 등 신재생 전용의 신뢰도 기준
- 신재생발전 과다출력시 Curtailment 보상 등 제도마련 등

### 2. 신재생E, 재생E, IBR ?

○ 재생에너지 중 IBR(Inver Base Renewables)과 비IBR을 구분할 필요 있음  
 우리나라 2018년 기준 대표적 IBR인 태양광, 풍력발전력 비중은 1.9% 수준임. 따라서 3020, 4035 목표는 IBR 중심의 목표량을 명확히 할 필요가 있고 해외 사례 중 신재생에너지 발전비중 100% 목표를 IBR 비중목표와 동일시는 곤란. 해외 목표 중 신에너지와 비IBR 비중을 비교하는 것이 중요  
 태양광과 풍력 위주의 수용성을 분석, 논하는 것이 전력계통 안정성과 수용성을 동시에 고려하는 것이고 IBR 수용성은 출력변동성과 계통관성 측면의 계통(과도)안정도를 주로 고려해야함.

SNSP(System Non-Synchronous Penetration)-비동기 발전기 계통수용 정도

[참고] 출력변동성(1분 출력변동성)과 과도안정도 검토사례(예시 자료임)

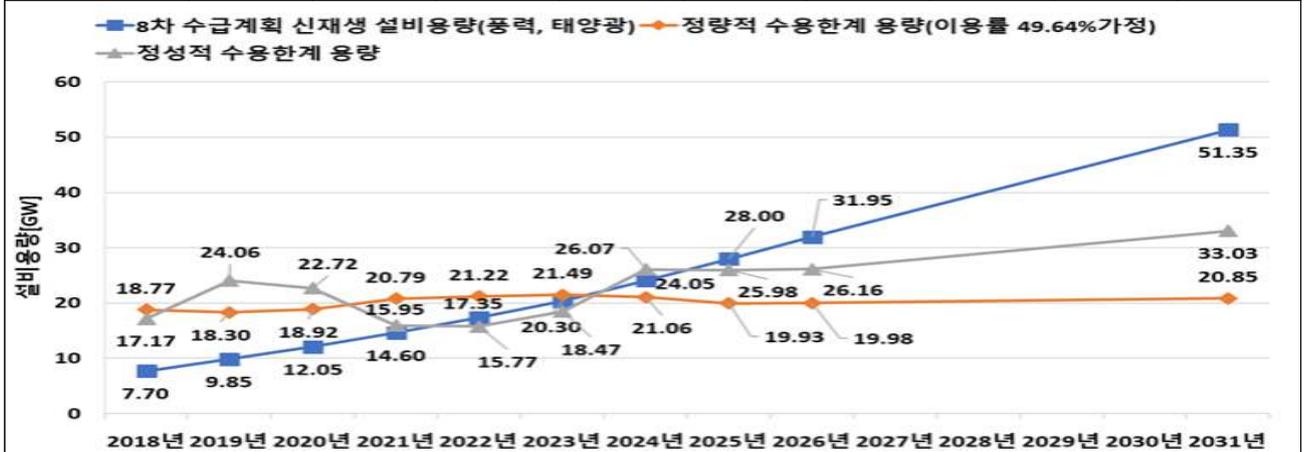
☞ 현재 계통에서 어떤 대책(주파수예비력 확대, ESS, 동기조상기 추가 등)도 없는 경우의 태양광, 풍력발전 수용용량(예시)

□ 시나리오 1 (재생E 1분 변동성 14.7%)

○ '31년 변동성 재생E 수용용량

[단위 : GW]

연도	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'31
변동성 재생 용량	9.85	12.05	14.06	17.35	20.30	24.05	28.00	31.95	51.35
재생E 변동성(a)	18.30	18.92	20.79	21.22	21.49	21.06	19.93	19.98	20.85
과도주파수(b)	24.06	22.72	15.95	15.77	18.47	26.07	25.98	26.16	33.03
수용용량 (a, b 최소값)	18.30	18.92	15.95	15.77	18.47	21.06	19.93	19.98	20.85

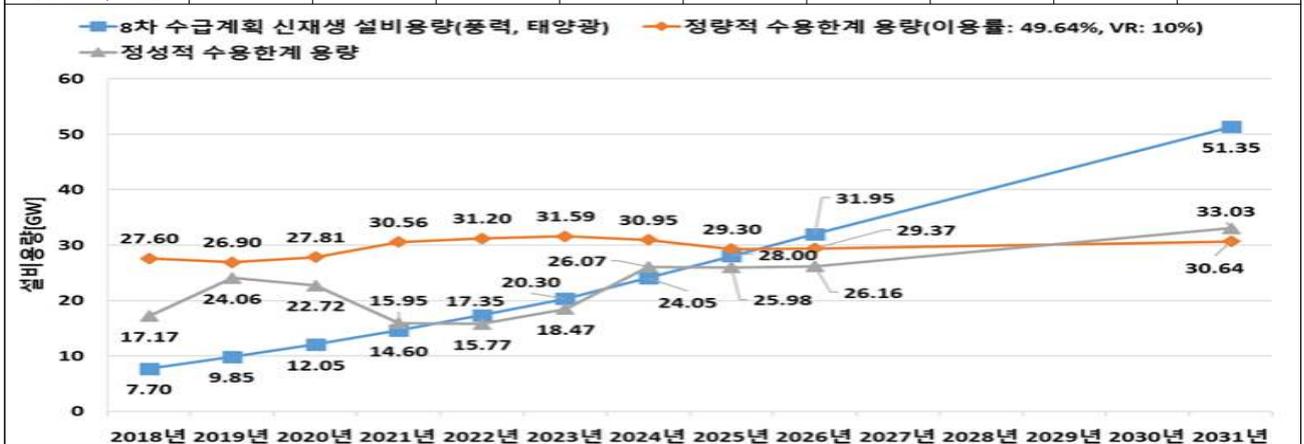


□ 시나리오 2 (재생E 1분 변동성 10%)

○ '31년 변동성 재생E 수용용량

[단위 : GW]

연도	'19	'20	'21	'22	'23	'24	'25	'26	'31
변동성 재생 용량	9.85	12.05	14.06	17.35	20.30	24.05	28.00	31.95	51.35
재생E 변동성(a)	26.90	27.81	30.56	31.20	31.59	30.95	29.30	28.00	30.64
과도주파수(b)	24.06	22.72	15.95	15.77	18.47	26.07	25.98	26.16	33.03
수용용량 (a, b 최소값)	24.06	22.72	15.95	15.77	18.47	26.07	25.98	26.16	30.64



## [주제2] 재생에너지 확대를 위한 전력계통 기술의 Action Plan

### 1. 재생E(태양광, 풍력 위주의 변동성 전원) 수용률 단계

구 분	발전량	계 통 영 향	과 제	8차 수급계획 기준 Phase 진입
Phase 1	0~3%	재생E의 계통영향이 거의 없는 상황 접속점근처 국지적 계통에 영향	Grid code에 추가사항 고려 국지적 계통영향 검토	현 수준
Phase 2	3~15%	재생E 용량이 계통운영 영향을주는 상황 재생E 수용을 위해 계통운영 패턴의 변화	계통혼잡관리&GridCode개정 출력예측 시스템 필요성 고민	2020년 (변동성 재생E 발전량 2.9%)
Phase 3	15~25%	높은 불확실성과 변동성으로 유연성 자원 중요 큰 Net load 변동 및 빈번한 역조류	출력예측 시스템 유연성 자원*의 확대 중요	2030년 (변동성 재생E 발전량 13.5%)
Phase 4	25~50%	재생E가 100% 부하 담당하는 시간 발생 계통 안정도에 영향을 미치는 상황 넓은 범위의 계통보강, 외란 회복능력 강화 요구	계통 Inertia가 최우선 과제 재생E의 Reliability 기여	2040년 예상
Phase 5	-	잉여전력 및 대규모 curtail 발생	부하의 Electrification (열/운송수단)	
Phase 6	-	계절에 따라 수급부족 현상 발생 저장장치&수요반응 대응 가능량을 초과	전력의 변환/저장 기술 (Gas&Hydrogen)	

\* 출처 : International Energy Agency (Insight series 2017, Getting wind and sun onto the grid)

#### ① 1단계

국지적 접속문제 해소, 배전선로 변압기, 변전소 신증설  
Connection Code 개정(고도화) 준비, 감시제어시스템 구축단계

#### ② 2단계

지역적 계통혼잡 관리(Curtail), 송전선로 신설, 감시제어시스템 확대,  
엄격한 Connection Code 적용 및 보상/페널티 적용  
발전기 유연적용, 유연한 계통안정화 설비 적용

#### ③ 3단계

전국적 고도화된 감시제어시스템 운용, 지역/전국 단위 예측시스템 필수,  
ESS/동기조상기 확대, 주파수조정 예비역 일부조정, 비용최적화  
개념의 Curtail 적용(3~5% ??)

#### ④ 4단계

계통관성 최우선 고려(태양광, 풍력 상한제약 빈번), SSTI, SSR,  
미소신호안정, 과도안정도 등 기존 통념과는 다른 고도의 계통해석  
및 관련 결과를 실계통 적용/운용, 다른 국가와 계통연계가 없는  
상황에서는 IBR 순시수용률은 40~50%(??) 초과 시 별도대책 필요예상

[참고] 유연성 자원 확대방안

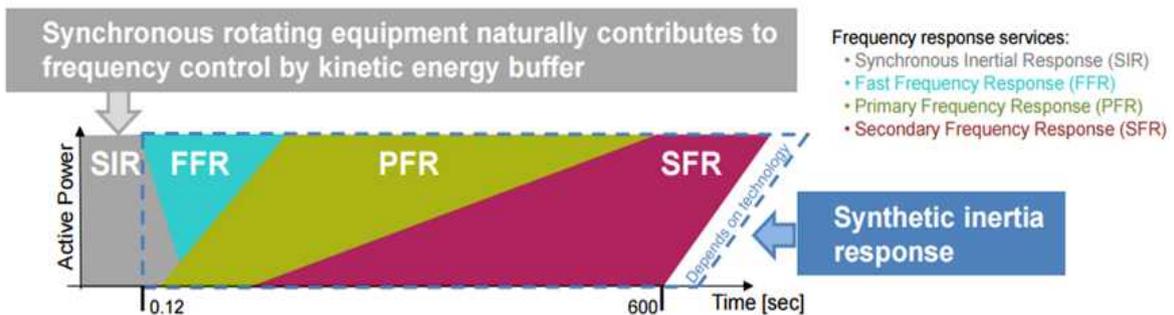
□ 1분 이상 변동성 대응자원

- 운영예비력 일부조정
- 발전기 유연성확보 : 발전기 최소 출력 수준 성능향상  
발전기 증감발률 성능개선  
발전기 기동시간 단축

□ 5초 ~ 10초 이상 변동성 대응자원

- 주파수 조정예비력 일부조정
- 전력계통 안정화용 ESS 확대
- 수요자원과 발전기 공급 관리

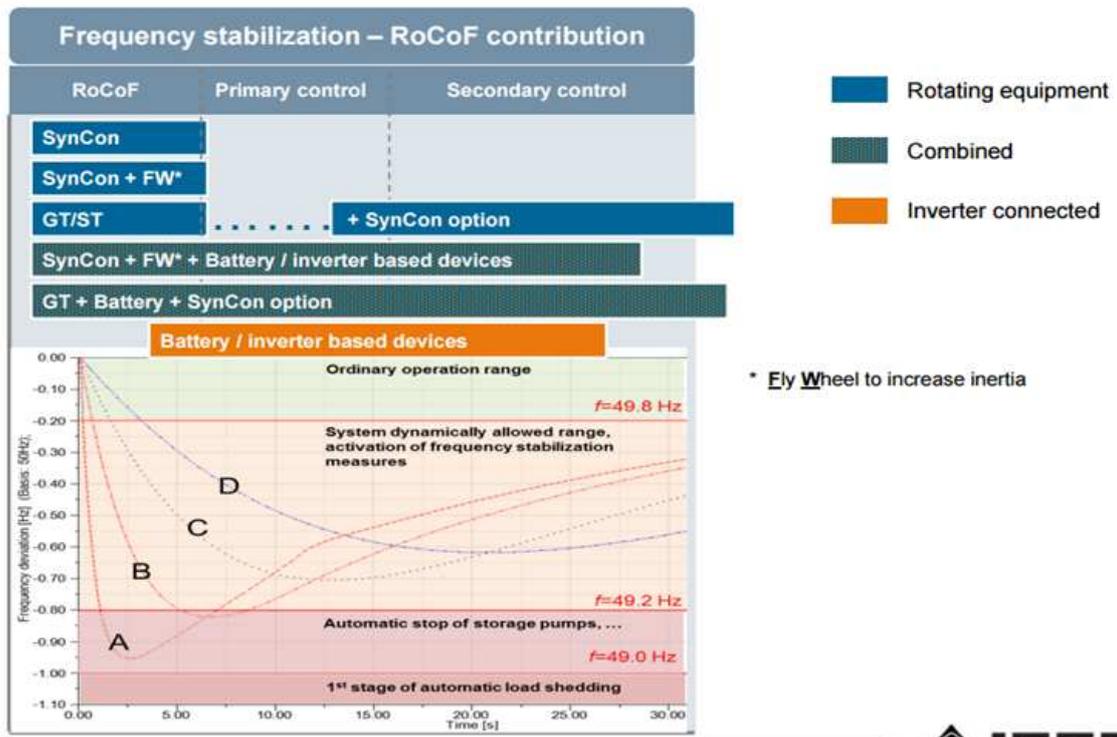
□ 수초 이내 초단기 변동성 및 계통관성 확보 자원



- Synthetic inertia** controller initiated injection or absorption of active power into power system
- Energy source** battery, wind turbine, PV farm, super caps
- Time delay** > 120 msec, depends on source and technology
  - > Frequency deviation detection time, 3-5 cycles, depends on quality of the sinus wave
  - > Command to actuate ≥ 20 ms
  - > Power release time by the equipment – depends on technology

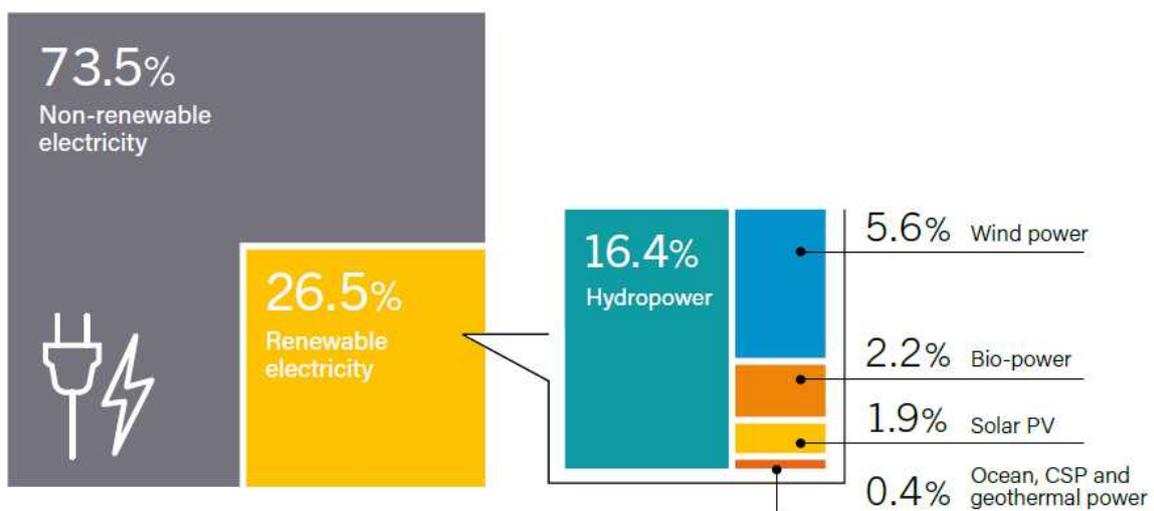
How critical is the time delay to maintain stable frequency in the grid?

## Overview frequency response – contribution by different products



설비 예비력이 확보된 상황에서 IBR(≈변동성 전원) 확대 대응은 발전기 증설이 아닌 1, 2차 예비력 확대 ② 동기조상기, ESS 확대 등 (초)속응성 및 관성자원을 계통에 병입하는 방안을 고려해야

FIGURE 6. Estimated Renewable Energy Share of Global Electricity Production, End-2017



Source: See endnote 188 for this chapter.

출처 : REN21 Renewables 2018 Global Status Report



재생에너지 간헐성 해소와 계통 유연성 확보의 핵심 난제와 해법

## 제6회 에너지전환 테크포럼

강 보 민 발전소장 (SK D&D 가시리 풍력사업본부)

패널논제

**KEFEP**  
한국에너지기술평가원



## □ 재생에너지 중심의 전력계통, 어떻게 실현할 것인가

전기는 수요에 맞춰 공급을 해야 하는데, 수급 균형이 무너지면 계통 전체의 주파수 변동이 발생하게 됩니다.

전력수요는 계절별, 시간대별, 기상 조건, 사회 활동에 의해 변화합니다. 그러나 재생에너지의 경우에는 이런 수요 활동 보다는 계절별 혹은 시간대별 자연의 변동에 의해 출력이 변동되게 됩니다.

이런 재생에너지의 전원의 간헐성을 위해서는

- 1) 재생에너지의 정확한 발전량을 예측이 필요합니다. 재생에너지의 발전량은 기상조건에 따라 바뀌기 때문에 기상에 대한 정확한 예측 시스템 구축이 필요합니다. (이를 통해 향후 입찰제 전환 시 보상에 대한 근거 자료로 활용이 가능합니다.)
- 2) 재생에너지와 더불어 기저발전과의 적절한 에너지Mix를 통하여, 재생에너지의 간헐성 보완이 필요하며, 조정용 전원의 확보를 통해 단주기의 출력변동에 대한 보완이 필요하다.  
또한 양수발전 / ESS / P2G(Power to Gas)와 같이 전력 수급계획을 변경 가능한 설비의 설치가 필요합니다.
- 3) 운영적 측면에서, 현재 비중양급전형태로 보고 있는 재생에너지 설비에 대해 주파수 제어 운전방식 / 계통보조서비스 등 시행을 준비해야 합니다. 따라서, 기존 설비들의 가능여부를 확인 및 신규 설비에 대한 설비특성에 대해서 정확히 파악이 필요합니다. 그와 동시에 제약량에 대한 보상체제 구축이 필요합니다.

4) 중장기적으로 인접 국가와의 그리드망의 연계가 필요합니다. 대한민국 내의 전력계통의 수급만 시행 시, 재생에너지의 전력비중이 높아질수록 계통의 가장 중요한 부분인 안전성이 낮아집니다.

따라서, 유럽의 경우 슈퍼그리드 구축을 통해, 인접 국가로 수전과 송전을 동시에 진행함으로써, 전력망의 안정화를 구축합니다.

인접국가와의 송전망 코드(Grid Code) 협의 혹은 고압직류송전(HVDC) 등 방식의 도입을 검토가 필요합니다.

재생에너지 간헐성 해소와 계통 유연성 확보의 핵심 난제와 해법

## 제6회 에너지전환 테크포럼

김진호 교수 (광주과학기술원)

패널논제

**KEFEP**  
한국에너지기술평가원



□ **[주제1] 재생에너지 중심의 전력계통, 어떻게 실현할 것인가**

- 재생에너지 확대에 따른 전력계통 유연성 확보 방안 필수
- 신재생/분산전원 확대에 의한 전력계통 변동성/불확실성에 대응하는 유연하고 탄력적인 출력증감발(Ramping) 가능한 전원기술/자원/제도 개발 필요(MEGAWATT → NEGAWATT → FLEXWATT)
- 국내 계통 특수성 : 독립계통(Isolated Systems) 제약
- 전력산업구조 특성 : 발전부문분리, 송배전판매 단일 사업자(한전), 제한적 전력시장 운영
- 전기요금 수용성 : 저렴한 전기요금수준, 에너지상대가격 왜곡, 제한적 전기요금 수용성
- 전력시장구조 : 판매부문 점진적 개방, DSO 도입 검토, 분산시장 (스마트시티, MG 도입 등)
- 에너지신산업 : 국내 신재생, 분산전원 위주의 에너지 신산업 육성 정책

□ **[주제2] 재생에너지 확대를 위한 전력계통 기술의 Action Plan**

- 전력계통 유연성 확보를 위한 정책/제도, 시장설계, 기술개발에 대한 구체적 PLAN 개발 필요
- 전력정책/제도 : 유연 기술이 시장에 진입하기 용이한 정책제도 혁신 필요 (규제체계, 지원제도, 요금제 등)
- 전력시장 개선 : 실시간시장 도입, 보조서비스시장 도입, FRP (Flexibility Resource Product) 상품개발, 배전 DSO 및 DMO 도입, P2P 제도
- 유연기술 혁신 : 유연자원 개발 (DR, G/T, ESS, PUMP, Intercon.)



재생에너지 간헐성 해소와 계통 유연성 확보의 핵심 난제와 해법

## 제6회 에너지전환 테크포럼

허진 교수 (상명대학교)

패널논제

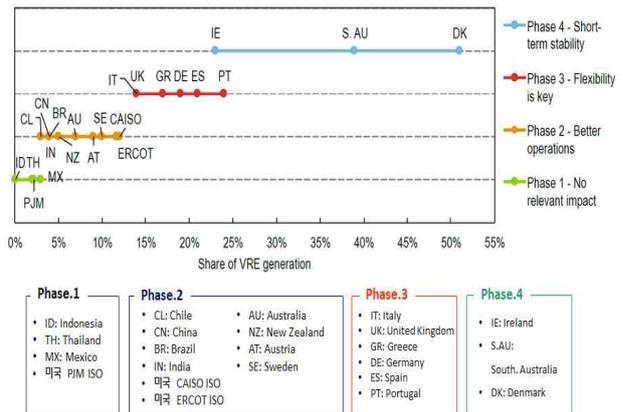
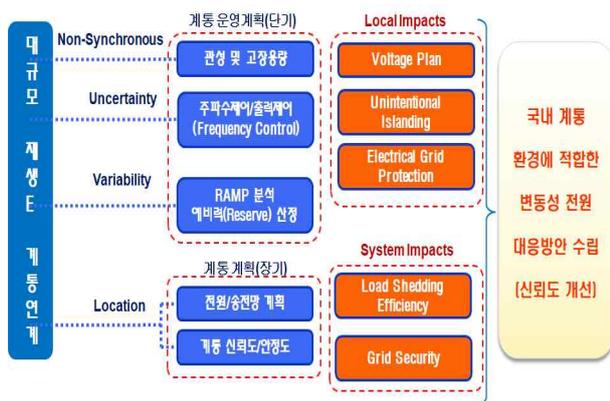
**KETEP**  
한국에너지기술평가원



□ [주제1] 재생에너지 중심의 전력계통, 어떻게 실현할 것인가

○ 신재생에너지의 전력계통 연계가 확대됨에 따라 재생에너지(풍력/태양광)를 포함한 전력계통의 운영/계획 방안 수립 필요

- 재생에너지 확대 적용 계획(3020 Project) 국내현황: 신재생에너지 3020 정책 및 제8차 전력수급기본계획 반영
  - \* 2016년 기준 국내 신재생에너지 발전설비용량 9.3GW (발전량: 4.8%)
  - \* 2031년 기준 국내 신재생에너지 발전설비용량 58.5GW (발전량: 20% 예상)
- 대규모 재생에너지 계통연계에 따라 계통운영계획(단기) 및 계통계획(장기) 수립 계획을 통해 국내 계통 환경에 적합한 재생에너지(변동성 전원) 대응방안 수립 필요 (그림1참조): 해외 전력기관 중 스페인, ERCOT ISO(Texas 지역 계통운영자), Ireland 시스템 Bench-marking 검토 필요



<그림 1. 재생에너지 확대에 따른 계통영향(주요이슈)>

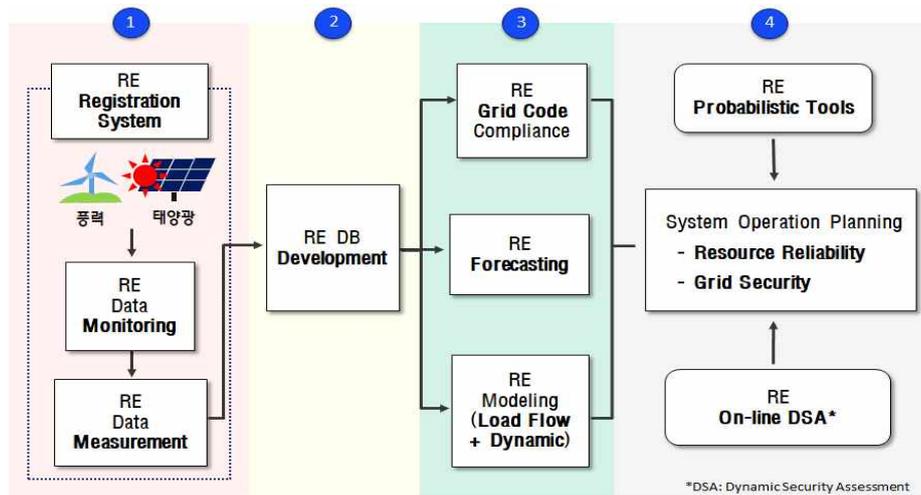
<그림2. 해외 신재생 연계 수준 (출처:IEA Report(2015))>

○ 재생에너지의 연간 발전 비중 및 연계 수준에 따른 단계적/체계적 기술 개발 대응 필요

- 2단계(RE 3~15%): 가시성(Visibility) 대응 방안 기술 개발
  - \* 풍력과 태양광 중심의 재생에너지 확대에 따라 재생에너지 감시(Monitoring) 및 예측(Forecasting) 시스템 구축 필요
- 3단계(RE 15~25%): 유연성(Flexibility) 대응 방안 기술 개발
  - \* 전력공급의 불확실성과 변동성이 상당히 높은 특징을 보이며, 전력수급 안정화를 위한 대책 수립 필요(재생에너지 제어시스템 구축)
- 4단계(RE 25~50%): 안정도(Stability) 대응 방안 기술 개발
  - \* 기존 발전기(Traditional Generator) 감소에 따른 안정도(예, 관성문제) 확보를 위한 대응 방안 수립 및 재생에너지는 신뢰도 서비스 제공 검토 필요

## □ [주제2] 재생에너지 확대를 위한 전력계통 기술의 Action Plan

- 재생에너지 수용성 확대 및 전력계통 신뢰도 개선을 위한 Action Plan 수립(그림 3참조)



<그림 3. 재생E 확대에 따른 신뢰도 개선 방향>

- (1) **RE Registration System(재생에너지 정보공유시스템) 개발**  
 재생에너지 등록 및 데이터 수집 프로세스(Installation → Submission → Validation) 시스템 구축(예, 호주 DER Register)
- (2) **RE Data Monitoring(재생에너지 확대에 따른 새로운 감시 시스템) 개발**  
 소규모 및 대규모 재생에너지(풍력/태양광) 효율적 계통연계를 위한 Aggregation 및 감시-제어를 위한 모니터링 시스템 구축(예, 스페인 모니터링 시스템)
- (3) **RE DB Development(재생에너지 포함 새로운 계통 Base Case) 수립 및 개발**  
 재생에너지의 시간적 특성을 고려한 Base Case 생성 및 계통 운영/계획 계통 검토 반영 필요(재생E & 부하 특성을 고려하여 17개의 시간대로 분류 (계절 당 4개 시간대/겨울 피크 부하))
- (4) **재생에너지 계통연계기준(RE Grid Code) 개선**  
 재생에너지 접속규정 및 연계규정 개선 및 강화 → 전력계통 신뢰도 고시 강화 및 개선(예, NERC 신뢰도 기준: ①Active Power Control Capabilities, ②Reactive Power and Voltage Control, ③Performance During and After Disturbances, ④Models for Facility Interconnection Studies, ⑤ Communications Between Variable Generation)
- (5) **재생에너지 발전 출력예측(RE Forecasting) 모형 개발**  
 기상 모형(풍속 예측) 및 통계 모형(전기적 출력 예측)의 Ensemble 예측 모형 개발 필요(Improved Forecast System 개발)

재생에너지 간헐성 해소와 계통 유연성 확보의 핵심 난제와 해법

## 제6회 에너지전환 테크포럼

전 동 훈 수석연구원 (전력연구원)

패널논제

**KEFEP**  
한국에너지기술평가원



## □ [주제1] 재생에너지 중심의 전력계통, 어떻게 실현할 것인가

정치(P), 경제(E), 사회(S), 기술(T)적인 측면에서 구분하여 생각해볼 필요가 있다. 각각의 측면에서 해결해야할 문제들과 이를 해결하기 위한 실행방안들이 정부, 한국전력거래소, 한국전력공사, 전력그룹사, 한국에너지공단, 민간발전사 등의 입장에 따라 다양하게 도출될 수 있을 것이다.

기술적인 측면에서의 실현방안으로 “독립형 마이크로그리드기술”의 완성, 보급, 운영을 제안하고자 한다.

마이크로그리드(MicroGrid)는 작은 전력시스템(Power System)이다. 적용대상에 따라 주택/아파트, 건물/공장, 단지/마을, 도시 등으로 구분할 수 있는데, 기본적으로 태양광, 풍력 등의 재생발전기술, 리튬이차전지 등의 에너지저장기술, MG 시스템 운영기술 등이 접목되어 있고, 크게는 전통적인 AC 기술에 DC 기술이 융복합되어가고 있는 과정이라고 볼 수 있다. 또 마이크로그리드기술의 범위가 전기를 포함하여 가스, 열 등 에너지 전체로 확대되어 복합적인 문제해결을 요구하는 추세지만 해결하기 곤란한 기술적인 문제는 없다고 판단된다.

재생에너지 중심의 전력계통을 실현하기 위한 여러 노력들이 있었고, 앞으로도 계속되겠지만 정책 추진 및 대규모 발전단지 개발 등 정부/공기업 주도의 Top Down 실행방안과 독립형 마이크로그리드 등 민간 주도의 Bottom Up 실행방안이 병행된다면 정치, 사회, 경제적인 측면에서의 문제가 어떻게 합의되느냐에 따라 시간차이는 있겠지만 재생에너지가 중심적인 역할을 하는 전력계통의 완성을 확인할 수 있을 것이다.

## □ [주제2] 재생에너지 확대를 위한 전력계통 기술의 Action Plan

재생발전원의 수용확대 및 안정적인 전력계통 운영을 위해서는 단기적으로 재생발전원 발전량 예측기술, 중기적으로는 에너지 저장장치, 발전기 유연운전 등 유연성 확보기술, 그리고 장기적으로 PMU 빅데이터를 이용한 정밀 전력계통 운영 기술 등이 필요할 것이다.

재생에너지의 간헐성, 불확실성을 고려하여 전력시스템을 보다 정밀하고 정교하게 감시, 분석, 제어하기 위한 핵심기술들이지만 한편으로 생각해보면 염려했던 것보다 많은 새로운 기술들이 개발되어 계통운영에 활용될 것 같지는 않다.

기술개발의 Action Plan을 논하기에 앞서서 범국가 차원에서 효과적인 기술개발을 위한 “역할분담과 협력”을 제안하고자 한다. 결론적으로 EMS 중심의 전국계통 운영(한국전력거래소), SCADA 중심의 송변전계통 및 ADMS 중심의 배전계통 운영(한국전력공사), 중소규모 재생발전원 관리(에너지공단)으로 구분해서 생각해볼 필요가 있는데

- IEA 보고서(2017)를 보면 변동성 재생에너지(VRE)의 보급단계를 1단계에서 4단계로 구분하고 있다. 우리나라의 경우 1단계에서 빠른 시기에 2단계로 진입할 것으로 전망되어 이에 대한 대책마련을 서두르고 있다.

그러나, 지역을 구분해서 생각해보면 광주전남지역은 이미 2단계에 진입해 있고, 22.9kV 이하 배전계통에서 심각한 전압문제를 일으키고 있어 한전의 배전계획처, 배전운영처에서 이에 대한 대책수립과 기술개발을 진행하고 있다. 아쉬운 점은 지역적인 전압만을 우선적으로 고려하다 보니 전체 전력계통 운영 차원에서 선제적으로 고려되어야 하는 주파수, 안정도 등은 다룰 수가 없다.

- 전체 전국계통 운영과 관련된 기술개발과 적용은 이미 한국전력거래소에서 면밀히 검토하고 준비하고 있으며, 전력수급, 계통관성 등이 우선순위로 검토되고 있고, 이를 위한 감시, 분석, 제어시스템의 구축을 추진하고 있다.

아직 육지계통에서의 사례는 발생하지 않은 것으로 알고 있지만 전체 전력계통의 안정운영을 위한 최후의 제어수단으로 재생발전원의 Curtailment를 고려하고 있고, 154kV 송전급 변전소의 1/2차측에 연계되어 있는 재생발전원만으로 충분한 효과를 얻을 수 있을 것이라고 생각한다. 현실적으로 22.9kV 배전계통의 재생발전원 Curtailment는 정말 어려운 문제이다.

- 우리나라 전력계통의 송전망과 특히 154kV 송전급 변전소를 관리하는 한전의 계통계획처, 송변전운영처는 전력수급, 계통관성 측면에서 한국전력거래소와 협력하고, 지역 전압관리 측면에서 한전의 배전계획처, 배전운영처와 협력하고 있다. 직접적인 역할이 미미하다고 폄하하실 수도 있으나, 현재 EMS-(WAMS) SCADA-DAS(ADMS)로 이루어진 현재 및 미래의 전력망 운영체계상에서 대다수 및 대량의 재생발전원을 직접적으로 모니터링하고 있는 SCADA를 책임지고 있는 한전의 역할이 점점 커질 수밖에 없다. 선로, 변압기 등 송변전설비의 안정적 운영측면에서라도 상위 또는 주변계통에 영향을 미치지 않는 범위 내에서 재생발전원의 관제 필요성도 인정되어야 한다.



재생에너지 간헐성 해소와 계통 유연성 확보의 핵심 난제와 해법

## 제6회 에너지전환 테크포럼

하 정 림 변호사 (법무법인 태림)

패널논제

**KEFEP**  
한국에너지기술평가원



□ [주제1] 재생에너지 중심의 전력계통, 어떻게 실현할 것인가

○ 최근 전기사업법 개정 등 통하여 분산형전원 촉진 위한 제반 제도들이 도입되고 있으나, 세부적인 운용방안, 특히 계통연계 문제에 대하여는 아직 구체적인 규제나 제도가 완비되지 않은 상태임

- 현행법상 전력계통 운영방법(전기사업법 제45조; 한국전력거래소로 하여금 전기사업자 및 수요관리사업자에게 전력계통 운영을 위한 지시를 할 수 있도록 하고, 산업통상자원부장관이 송배전사업자에게 산업통상자원부령에 따라 전력계통 운영업무 중 일부 수행하도록 할 수 있음)을 정한 외에, 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법에 따른 전기의 전력계통 연계조건을 개선하기 위한 사업을 전력산업기반기금으로 추진하고(전기사업법 제48조, 제49조 제1호) 전기위원회에서 전력계통 신뢰도 관리업무에 대한 제반 사항을 심의하도록(전기사업법 제56조 제1항 제11호) 하는 등 다소 추상적 규제
- 산업통상자원부고시인 전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준(산업통상자원부고시 제2018-104호)에 따를 때 신재생발전기의 계통연계 적용기준은 전력계통 신규접속 20MW 초과 발전기(제주의 경우 배전계통에 전용선로로 연계되는 규모 이상의 발전기)에 한하며, 계통연계 및 운전시 계통 신뢰도, 전기품질 유지에 관한 신재생발전사업자의 협조의무 외에 구체적인 적정 계통연계기준은 산업통상자원부 장관 인가 하에 송·배전사업자가 마련하여 운영하도록 하고 있을 뿐 구체적인 내용을 규정하고 있지 않음

○ 즉 분산형전원의 계통연계에 대한 구체적인 실행규정이 상당히 미비하고, 구체적인 재원도 부족하여 전기판매사업자의 예산이나 계획만으로 추진하기에는 현실상 어려움 있음

## □ [주제2] 재생에너지 확대를 위한 전력계통 기술의 Action Plan

- 변화된 전원 형태에 맞추어 DSO 및 DSP 개방 고려하고, 기존 배전사업자가 이러한 기능을 계속 하는 경우에도 적절한 제도적 장치 필요
- 나아가 이러한 부담을 전기판매사업자에게만 미루어둘 것이 아니라(현재 고시 또는 한전 내규에 따라 설비기준을 규정하는 것에 그치고 있음), 입법/행정부 차원에서 이를 지원할 제도적 장치를 마련해야 함
- 제도화 촉진하기 위하여 법조/행정 분야 전문가와 전력 전문가들이 협업하여 지속적으로 화두 던지고, 기술 전문가들의 견해를 반영한 제도 및 규제의 도입을 선도적으로 주도할 필요
  - 전력계통 등 기술전문적인 분야의 경우 법령과 제도가 기술의 발전을 따라가지 못하고 있음. 이에 따라 관련 제도 역시 법령이 아닌 고시/지침 등 하위 규정에서 기술적 내용을 규정하는데 그치고 있음
  - 분야간 적극적 협업 통하여 기술 전문가들의 전문적 견해를 법조/행정가들이 숙지함으로써 제도적 연계 가능하도록 하여야 함
- 그 외에 한전에서 배전 자체는 독점하여 DSP 역할을 하더라도, 향후 시장독점 및 불공정한 시장지배력 행사로 인한 문제제기 가능성을 고려할 때(현행법상으로도 실제 규제하고 있지 않을 뿐 이론상 문제점 존재) 다양한 Player들의 참여 보장 및 위 지배력에 대한 제도적 견제장치 마련 필요함
  - 이를 위하여 배전망운영자, 송전망운영자, 발전사업자 등 각 주체의 책임범위와 접근 수준을 정의하고, 데이터 보안 및 활용을 위한 근거규정 수립 필요









