



한-EU 재생에너지 정책 워크숍

재생에너지를 더 빨리, 더 많이 수용하는 방법, 유럽의 경험에서 배운다

-계통 연계 개선과 계통망 관리 이슈를 중심으로

2019. 9. 26(목) 13:30-17:00

국회의원회관 제2소회의실

시 간	세부 일정	비고
13:30~14:00	현장 등록 및 장내 정리 Opening & Presentations	사회: 이진우 보좌관
14:00~14:10	개회사 - 국회의원 김성환 환영사 - Joëlle Hivonnet (주한유럽연합대표부)	
14:10~14:30	Opening - 재생에너지 확대와 계통 문제의 이해	기후솔루션
14:30~16:10	발제 1 - EU의 전력시장 정책 - 시장을 통한 재생에너지 확대 수용 방안	Paula Ceballos Coloma (유럽연합 에너지부)
	발제 2 - 재생에너지 계통 통합을 위한 과제와 극복 방안 - 유럽 TSO의 경험과 시사점	Marco Foresti (ENTSO-e)
	발제 3 - 한국의 재생에너지 계통연계 현황과 정책	곽은섭 (한국전력)
	발제 4 - 재생에너지 확대에 따른 계통망 관리 현안과 대응 방향	옥기열 (전력거래소)
	Expert Discussions	좌장: 전영환 (홍익대학교)
16:10~16:40	정규창 (한화큐셀) 허 진 (상명대학교) 하정림 (법무법인 태림)	
16:40~17:00	청중과의 토론 및 폐회	

※한영 동시통역 제공

주 최



국회의원 김성환



SFOC 기후솔루션

후 원



산업통상자원부



유럽연합

Supported by:



Bundesministerium
für Umwelt, Naturschutz
und nukleare Sicherheit

of the Federal Republic of Germany

This event was organised with the financial support of the European Union's Partnership Instrument and the German Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, and Nuclear Safety (BMU) in the context of the International Climate Initiative (IKI). The opinions expressed are the sole responsibility of the speakers and do not necessarily reflect the views of the funders.

재생에너지를 더 빨리,
더 많이 수용하는 방법,
유럽의 경험에서 배운다

-계통 연계 개선과 계통망 관리 이슈를 중심으로

인사말

개회사 김성환 더불어민주당 국회의원

환영사 Joëlle Hivonnet 주한유럽연합대표부



한-EU 재생에너지 정책 워크숍

**재생에너지를 더 빨리,
더 많이 수용하는 방법,
유럽의 경험에서 배운다**



국회의원 김 성 환

개회사

안녕하십니까. 더불어민주당 산업통상자원중소벤처기업위원회 김성환위원입니다.

‘한-EU 재생에너지 정책워크숍’에 참석해주신 여러분께 깊은 감사의 말씀을 전합니다.

오늘 토론회 주제인 ‘계통연계 개선과 계통망 관리’는 재생에너지로의 대전환의 전제조건과도 같은 것입니다. 중앙집중형-원거리 송전체계가 필요한 원자력이나 화력발전과 달리 재생에너지는 지역분산형-근거리 송전체계를 기반으로 하고 있습니다. 기존 에너지체계는 다양한 환경파괴와 송전에 따른 에너지손실이 발생할 수밖에 없기 때문에 지역에서 에너지를 생산하고, 지역에서 소비하는 체계로 인프라를 전환해야 합니다.

그러나 재생에너지는 기존의 원전, 화전과는 달리 계통 부하 관리와 간헐성 문제를 내포하고 있습니다. 전력안정성을 훼손하지 않기 위해서는 계통에 대한 세심한 계획이 필요합니다. 또한 아직까지 재생에너지 계통 연계망에 대해 우려하고 계시는 지역주민들과의 소통도 중요한 의제입니다.

유럽은 일찌감치 재생에너지 체계로 전환하면서 유럽 OECD 국가의 평균 재생에너지 비중이 15.2%에 달합니다. 특히 덴마크는 2030년까지 재생에너지로 전체 에너지를 충당하겠다는 야심찬 목표를 추진 중이고, 독일, 이탈리아, 프랑스도 2030년까지 재생에너지비중을 각각 65%, 50%, 40%로 대폭 확대하겠다는 계획을 세웠습니다. 유럽국가들이 이런 야심찬 목표를 수립할 수 있는 배경에는 재생에너지 계통 연계에 대한 기술적·사회적 자신감이 있습니다.

금일 토론회를 통해 유럽연합의 재생에너지 계통 연계 정책과 사회적 극복방안에 대한 노하우를 공유하고, 우리나라의 계통 연계 정책 방향이 제시되길 기대합니다. 특히 국회 차원에서 추진될 법·제도적 지원방안과 행정부가 추진할 수 있는 시사점들이 고루 제시되어 다양한 주체들이

동시다발적으로 재생에너지 계통 연계를 개선하는 계기가 되길 바랍니다.

토론회를 공동주최해 주신 기후솔루션 김주진 대표님과 토론회를 후원해주신 유럽연합 대표부,
산업통상자원부에게도 감사의 말씀을 전합니다.

2019년 9월 26일
국회의원 김성환



한-EU 재생에너지 정책 워크숍

재생에너지를 더 빨리,
더 많이 수용하는 방법,
유럽의 경험에서 배운다

환영사



Joëlle Hivonnet

Your Excellency, Seong-Hwan Kim, Member of the National Assembly

Distinguished guests, Ladies and gentlemen,

I am delighted to welcome so many of you here today for the Korea-EU Renewable Energy Policy Workshop, organised by the Solution for Our Climate and funded by the European Union.

It is our great honour to have Congressman Kim here today with us. Without his support and interest in the energy issue, it would have not been possible to organise this event at the National Assembly.

There has been considerable momentum towards a cleaner and sustainable future since the Paris Agreement was signed in 2015.

Yet our climate and environment is still in crisis. Recent protests and "green wave" in the European elections were a clear sign that citizens are demanding more ambition and cleaner society.

A number of challenges have led the EU to review the way it produces and consumes energy: environmental concerns, the fight against climate change and its strong commitment to reducing GHG emissions since 2009 and now under the Paris Agreement, new expectations from energy end-users, new business models and the need to maintain and improve competitiveness.

Transforming our energy system is, therefore, not only about our environment, it is also about citizens, businesses and society as a whole.

The Republic of Korea is also facing similar issues: improving air quality, reaching its 20% RES target by 2030 to support its commitments under the Paris Agreement

but also to improve its energy independence, new needs from industry, and the reduction of input costs in an increasingly turbulent global economy.

Energy and the organisation of markets, the operation of grids and the diversification of sources are at the very core of each of these issues.

By 2030, over 50% of the electricity produced in the EU will come from renewable sources. By mid-century, it could be up to 80%.

2019년 9월 26일
주한유럽연합대표부 **Dr Joëlle Hivonnet**

Minister-Deputy
Head of Political, Press and information Section,
Delegation of the European Union to the Republic of Korea

조엘 이보네
부대사/수석정무관
주한유럽연합대표부



재생에너지를 더 빨리,
더 많이 수용하는 방법,
유럽의 경험에서 배운다

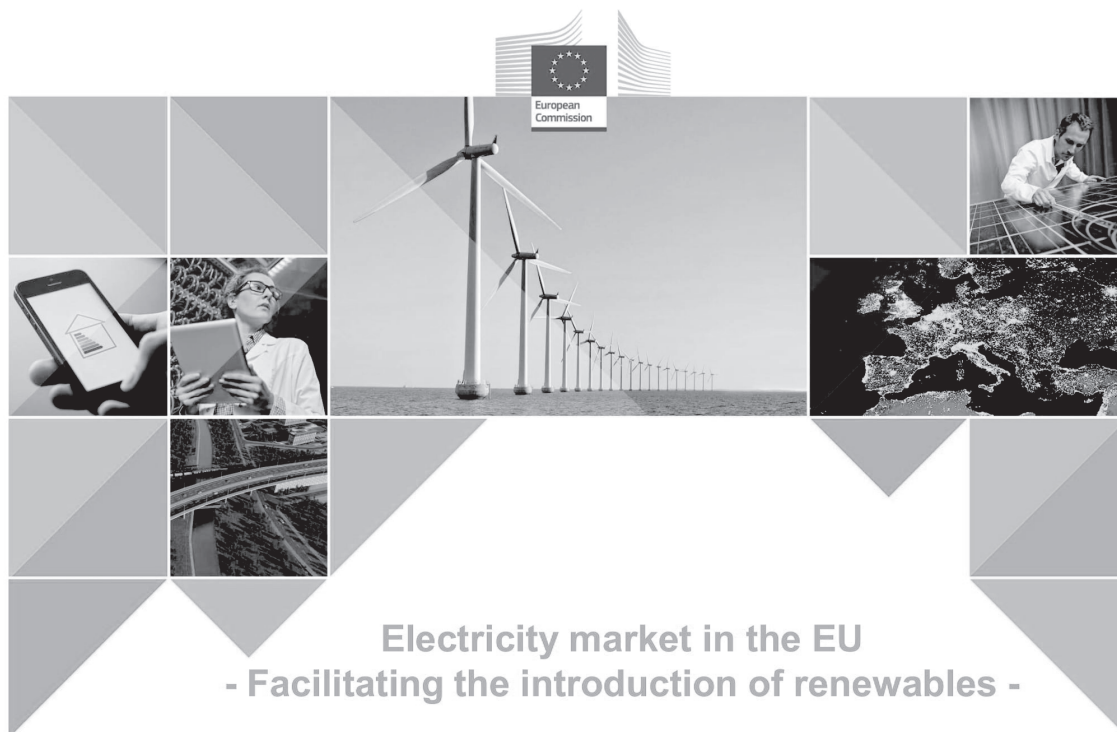
-계통 연계 개선과 계통망 관리 이슈를 중심으로

발제 1

EU의 전력시장 정책 _ 시장을 통한 재생에너지 확대 수용 방안

Paula Ceballos Coloma 유럽연합 에너지부





Electricity market in the EU

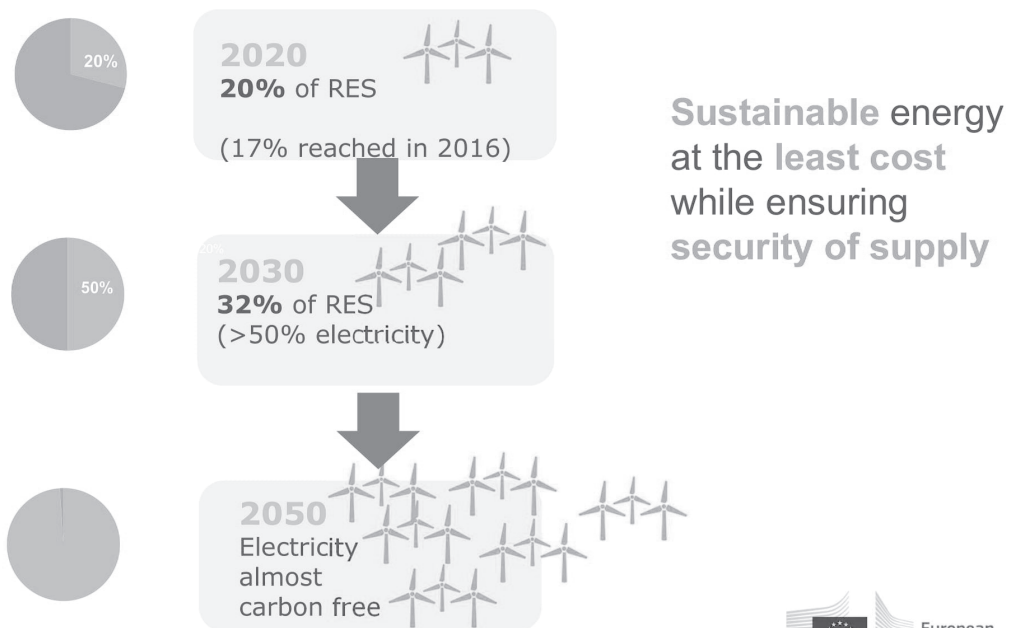
- Facilitating the introduction of renewables -

1. **Objectives** & challenges – RES integration in EU
2. **Overview** of EU electricity market(s)
3. How to facilitate RES integration? – **electricity market principles**

Objectives & challenges RES integration in EU



Objectives & challenges of RES integration in EU



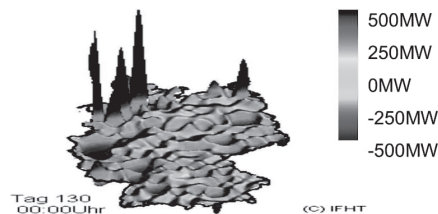
Objectives & challenges of RES integration in EU

Security of supply – grid management

Old Electricity World



New Electricity World



From central/ dispatchable...
...to decentralised/ volatile



The market rules have to
reflect this change!!

Objectives & challenges of RES integration in EU

Security of supply – grid management

"This amount of wind generation does pose an increased risk to the security and stability of the power system which exceeds the level normally likely to be accepted by a prudent system operator."

Ireland, 2003 – Ireland had 2% of wind power

2014: 20% wind power

2020 objective: 37 % wind power

Overview of EU electricity market(s)



Overview of EU electricity market(s)

Main principle:

Functioning **electricity markets are the best tool** to ensure electricity at the least cost while integrating renewable energies



Overview of EU electricity market(s)

First step ➡ unbundling

(Second energy package – 2009)

Single company operating the transmission network and generating or selling energy at the same time



possible incentive to obstruct competitors' access to infrastructure



This prevents fair competition in the market and can lead to higher prices for consumers.



Solution: unbundling (separation of energy supply and generation from the operation of transmission networks)



Overview of EU electricity market(s)

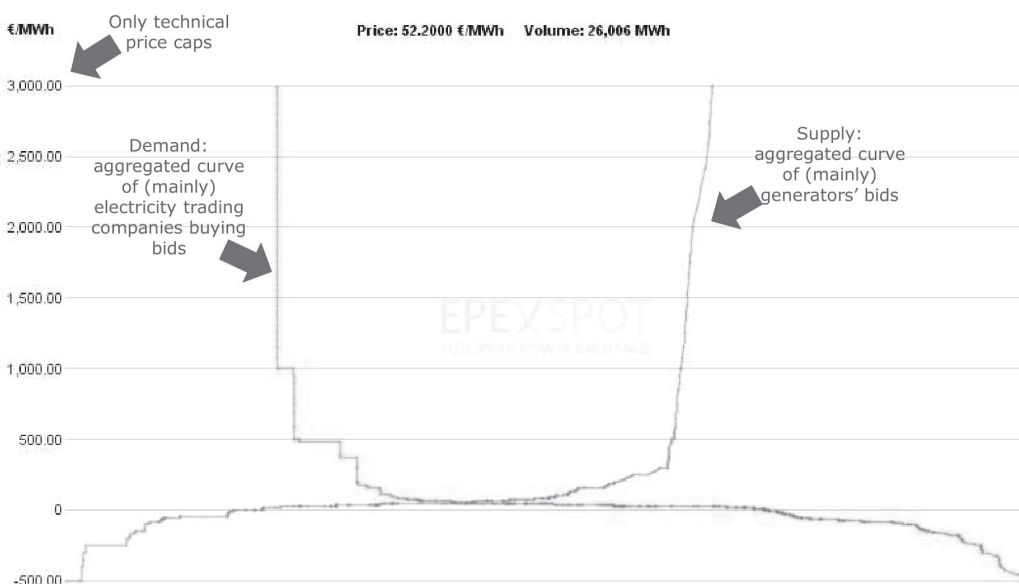
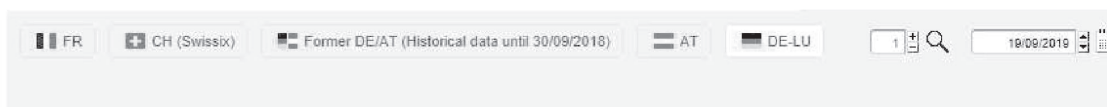
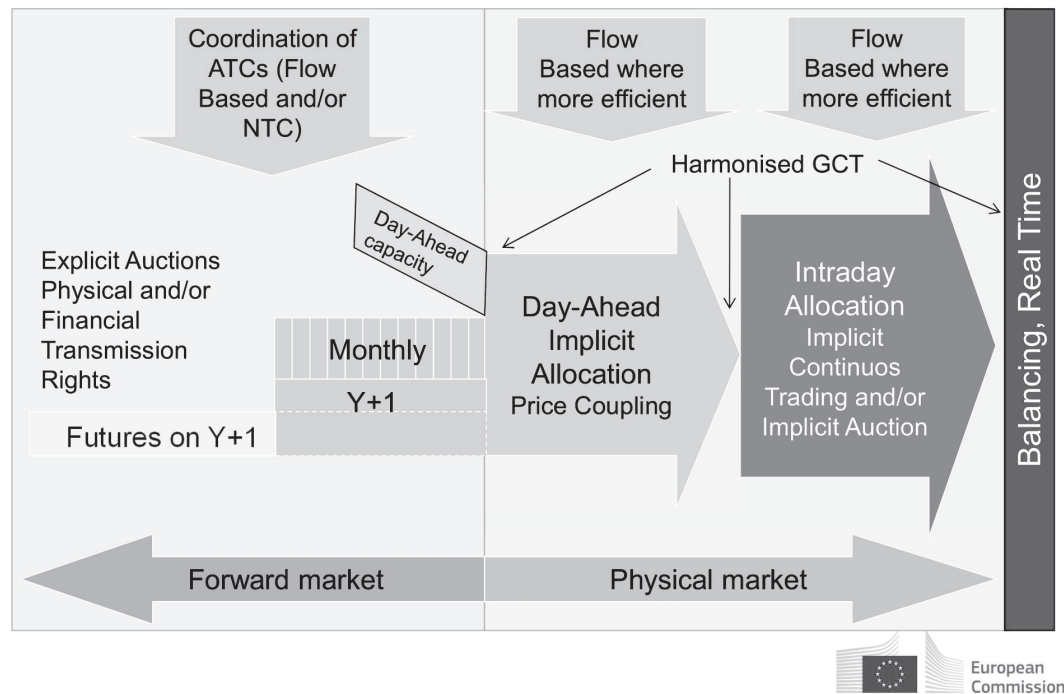
Second step ➡ electricity target model

Development of a common pan-EU electricity market in different timeframes, with the same functioning rules all over EU.



Overview of EU electricity market(s)

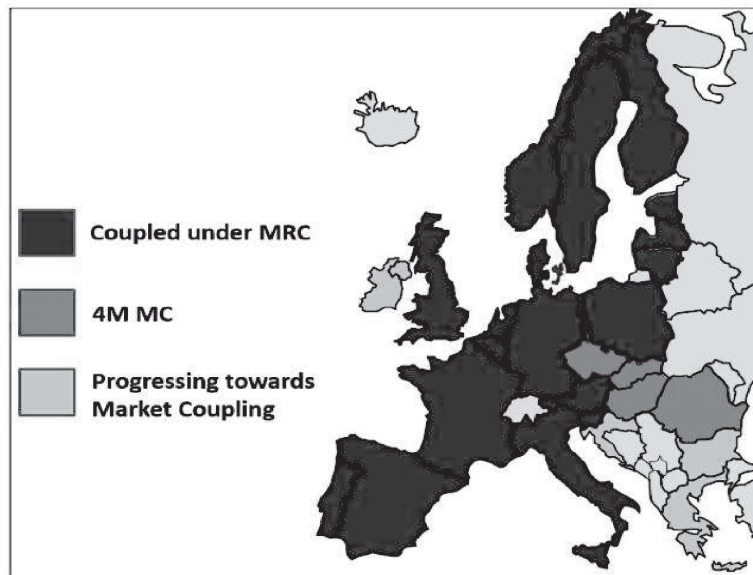
The EU electricity target model



Market players have an implicit responsibility to balance the electricity system
If they don't consume/withdraw what they committed to in the spot markets
→ they have to settle those imbalances with the TSO

Overview of EU electricity market(s)

Day ahead market



Overview of EU electricity market(s)

Intraday market

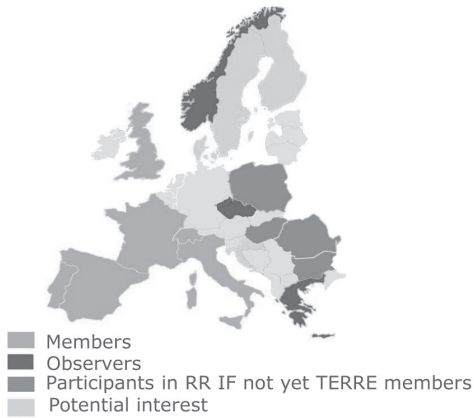


Overview of EU electricity market(s)

Balancing market

TERRE

Replacement reserves (RR)



PICASSO

Automatic
Frequency
Restoration
Reserve (aFRR)



MARI

Manual
Frequency
Restoration
Reserve
(mFRR)



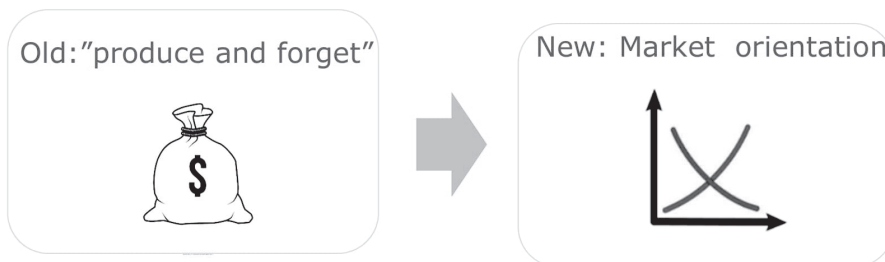
How to facilitate the integration of renewables?

Electricity market principles

How to facilitate the integration of renewables?

Making renewables fit for the market...

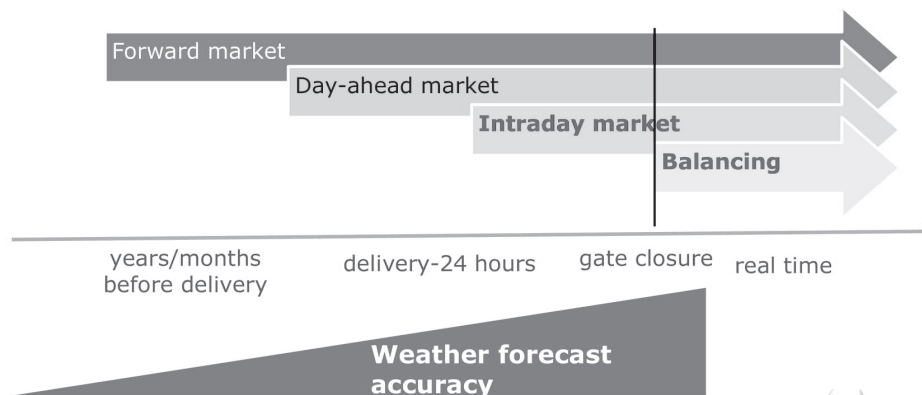
- Phase in balancing responsibility
- Phase-out priority of dispatch



How to facilitate the integration of renewables?

... and making the market fit for renewables

- Bring markets closer to real time: liquid and functioning intraday and balancing markets
- RES able to participate in all markets, including redispatching



Intraday market – XBID project – Go-live 12th June



COMPETITIVE AND FAIR MARKETS FOR ALL CONSUMERS

“ Our vision is of an Energy Union with citizens at its core, where citizens take ownership of the energy transition, benefit from new technologies to reduce their bills, participate actively in the market, and where vulnerable consumers are protected. ”

Energy Union Framework Strategy

COMPETITIVE RETAIL MARKETS

- Regulated prices phased out (only justified exemptions)
- Fair market access for new market players such as new services providers (e.g. aggregators)
- Distribution operators become neutral but active market facilitator
- Flexible network management

BETTER INFORMED

- Clearer bills and information
- Certified price comparison tool
- Access to fit-for-purpose smart meters

EMPOWERED

- Easier switching conditions
- Reward demand-response
- Entitle individuals and communities to generate electricity and to consume, store or sell it back to the market

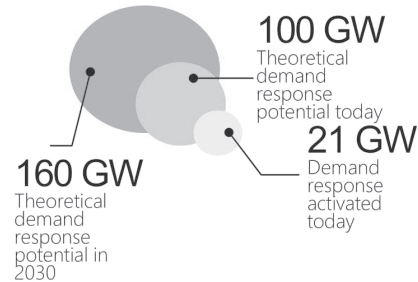
PROTECTED

- Defining and monitoring of energy poverty

Demand response to integrate intermittent renewables

There is a lot of untapped potential

- Only 21 GW activated today
- More than 50 GW can be activated by 2030
- 5.6 bn. euro/annum benefit
 - $\frac{3}{4}$ on the generation side
 - $\frac{1}{4}$ in reduced network investments



Two forms of demand response being enabled by the Clean Energy Package

1) Price based (Implicit DR): consumers are exposed to electricity price variations and actively adjust their demand.

But:

- Consumer must have access to a smart meter and a dynamic price contract

2) Incentive based (Explicit DR): consumers are paid for adjustments in their consumption

But:

- Market Barriers for demand service providers must be removed.

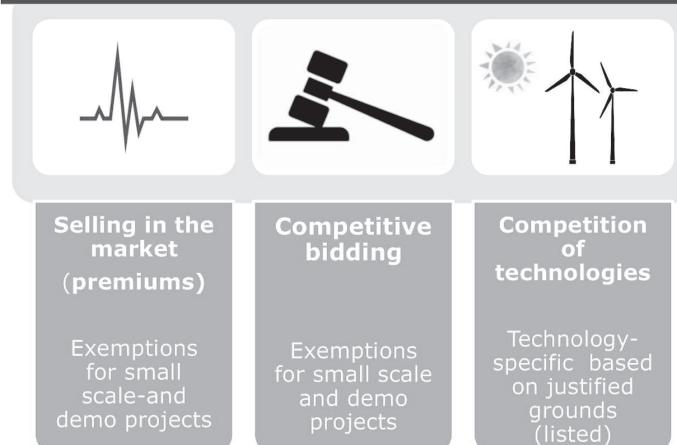


2. Tackling the challenges to achieving the climate targets

3.2 – When support for RES is needed, making it cost-effective

~320 GW of net additional renewable energy needed to reach 32%. A lot!

Cost-efficient and non-distortive support





재생에너지를 더 빨리,
더 많이 수용하는 방법,
유럽의 경험에서 배운다
-계통 연계 개선과 계통망 관리 이슈를 중심으로

발제 2

재생에너지 계통 통합을 위한 과제와 극복 방안 - 유럽 TSO의 경험과 시사점

Marco Foresti ENTSO-e



Renewable Energy Integration – European TSOs Experiences

Marco Foresti, ENTSO-E

September 26th, 2019
National Assembly, Seoul

entsoe 1

Europe & ENTSO-E: some facts & figures

entsoe 2

The European Energy Transition: RES & Electricity generation

Carbon intensity of European electricity production, gCO₂/kWh



Generation mix in ENTSO-E member TSOs' countries in 2018^{1,2}

	TWh
Fossil fuels net generation (lignite and hard coal, gas, oil, mixed fuels, peat)	1497.2
Renewable net generation (renewable hydro, wind, solar, biomass, geothermal)	1300.6
Thermal nuclear net generation	808.8
Hydro net generation (except renewable part)	29.2
Net generation not identified	32.0



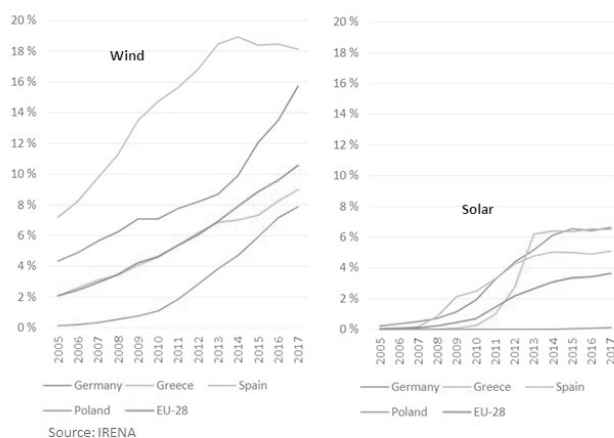
Source: ENTSO-E Statistical Factsheet 2018

Share of energy produced of each member TSOs' country 2018 in %^{1,2}



RES Development and electricity prices: recent trends

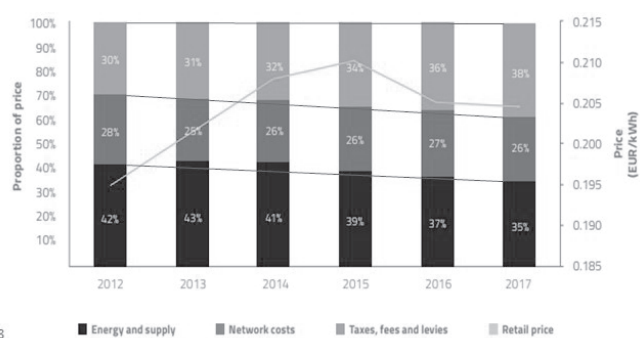
Share of Wind and Solar in total Electricity Generation: 2005-2017



Source: IRENA

Source: ENTSO-E Statistical Factsheet 2018

EU-28 Electricity price and component proportions for households



Separation of powers and main actors in the EU

European Commission and Member States

- **European Commission:** proposes and enforces EU policy (e.g. RES, CO₂ targets). Drafts Regulations and Directives which, once approved by the Council and European Parliament, become binding on all EU countries. Monitors Member States compliance
- **Member states:** national issues (e.g. security of supply, energy mix, tariffs, retail markets). Directives implemented on national level.

Regulatory authorities: ACER and NRAs

- **ACER (EU Agency):** cross border issues, dispute resolution between NRAs, approves/monitors European Network Codes methodologies
- **National Regulatory Agencies (NRAs):** national issues, approve national TSOs methodologies and grid code

ENTSO-E, RCCs and TSOs

- **ENTSO-E:** 10 year Network Investment Plans, Network Codes, Adequacy Assessments, European methodologies, TSO cooperation
- **Regional Coordination Centers (RCCs):** capacity calculation, outage planning, adequacy forecast, Common Grid Model
- **TSOs:** usually integrated (asset owners and system operators), responsible for national high voltage networks

Power Exchanges (PXs)

- **Market operators.** Jointly operate the Day-ahead market and Intraday market coupling; collect and match offers and bids, publish prices and settle transactions among buyers and sellers at national level.

entsoe

Who is ENSTO-E



42 TSOs in
35 countries



312 693 km of
transmission lines
7 times the Earth's circumference

3278 TWh electricity
consumption



15%
of the global
electricity
consumption



over 500 million
customers served



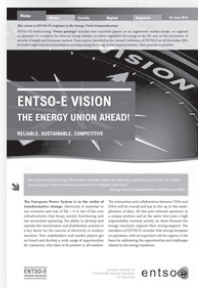
entsoe

entsoe
Reliable Sustainable Connected

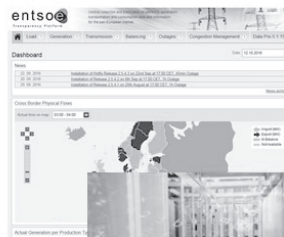
Pag
e 6

What does ENTSO-E do?

Design and Implementation of European rules for the Energy Market & System Operation



Definition of IT architectures & standards, Pan European Transparency platform with market and grid data



Common Grid Model

10-year development plan of the Pan European network + Adequacy Forecasts



entsoe 7

The key challenge of RES Integration: Flexibility

entsoe 8

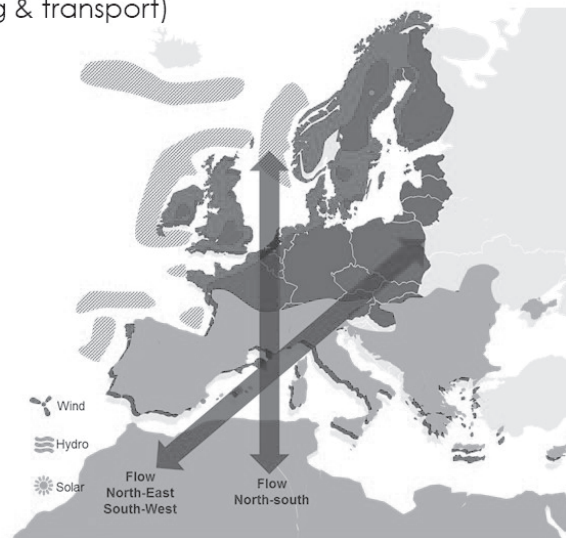
The Energy Transition: *What does it mean for Europe?*

EU 2030 targets:

- ❑ 40% CO₂ reduction (compared to 1990)
- ❑ 32% share of Renewables in Energy (incl. heating & transport)
- ❑ +/- 57% share of RES generation in Electricity

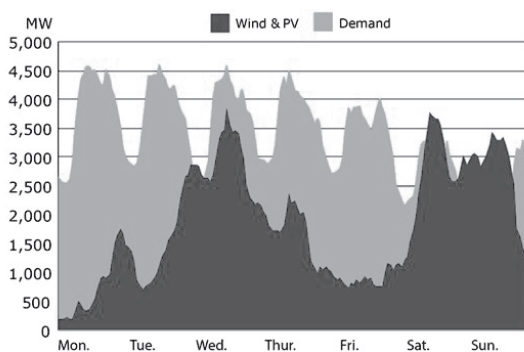
MAIN CHALLENGES

- Resource variability and uncertainty
- System stability
- New grid connections
- New and variable power flows
- Increasing congestions



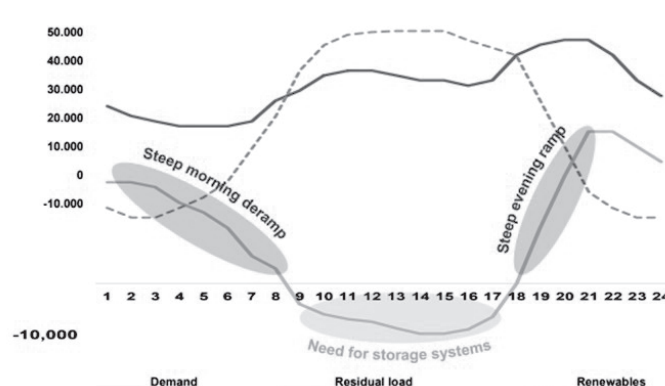
The FLEXIBILITY challenge: The changing role of our networks, markets & customers

Demand and RES production: September 2016



One week in Denmark
(Source: Energinet)

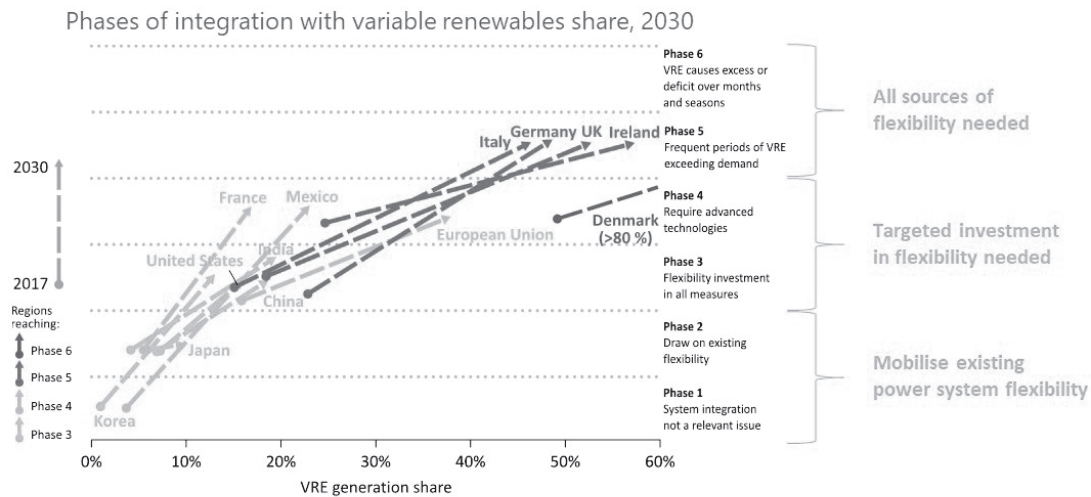
Demand, RES production & Residual Load: 2030 simulation



One possible day in 2030 in the Italian power system
(Source: Terna)

entsoe

Growing and Evolving flexibility needs across the World



The size of the power system, flexibility of thermal generation, shape of demand profile, imply different needs for additional flexibility even at the same levels of VRE

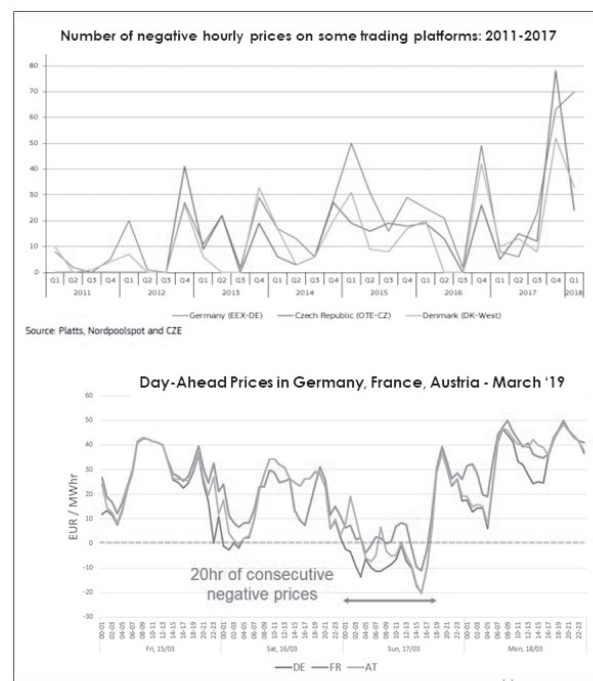
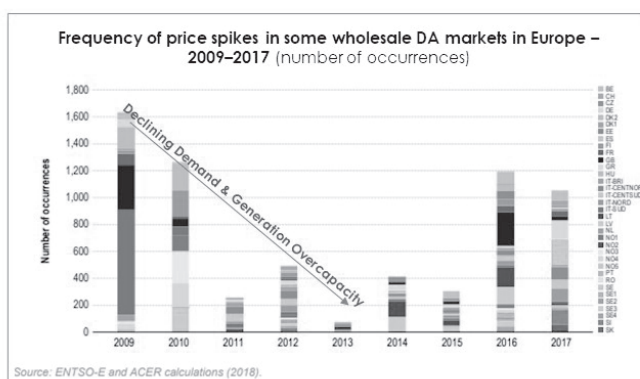
Source: World Energy Outlook 2018

entsoe 12

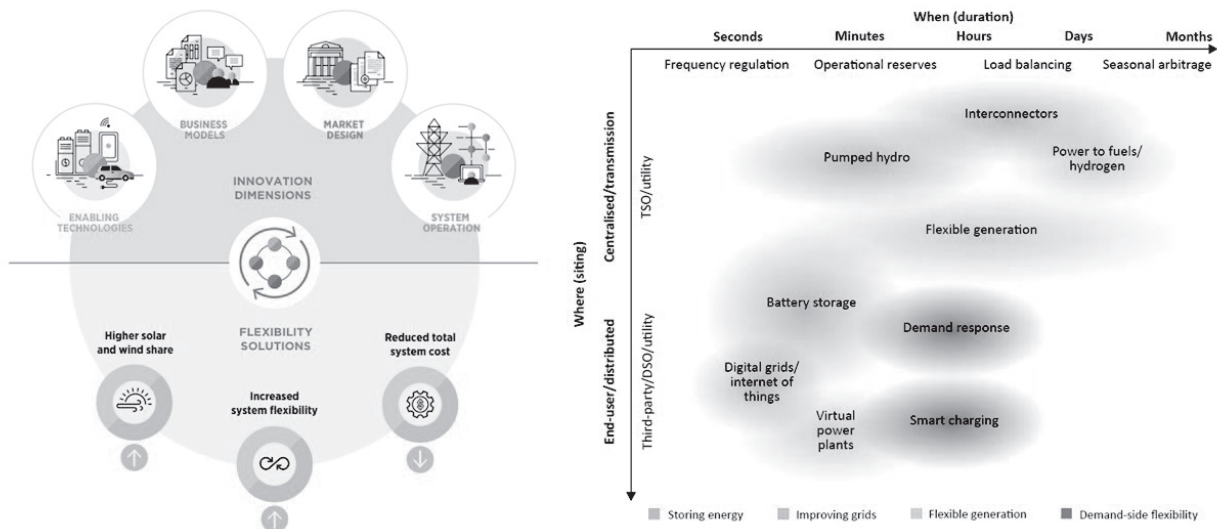
Evidence of flexibility needs: price spikes and negative prices

Increasing shares of weather-dependent RES lead to higher volatility:

- Price spikes (especially when reserve margins are low)
- Negative prices (especially if RES are not exposed to prices and grid capacity is limited)



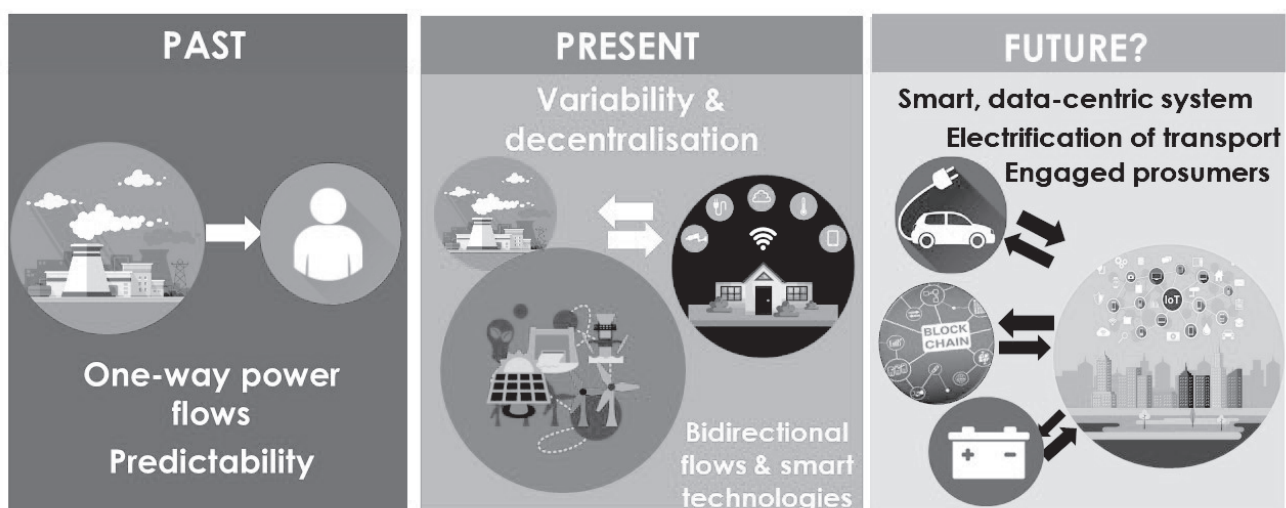
Flexibility solutions: technologies and enabling frameworks



Source: IRENA, 2019. INNOVATION LANDSCAPE FOR A RENEWABLE-POWERED FUTURE: SOLUTIONS TO INTEGRATE VARIABLE RENEWABLES

entsoe 13

RES is only one of the transition dimensions: A paradigm shift for the whole power system



entsoe

System Operation: challenges and tools

entsoe 15

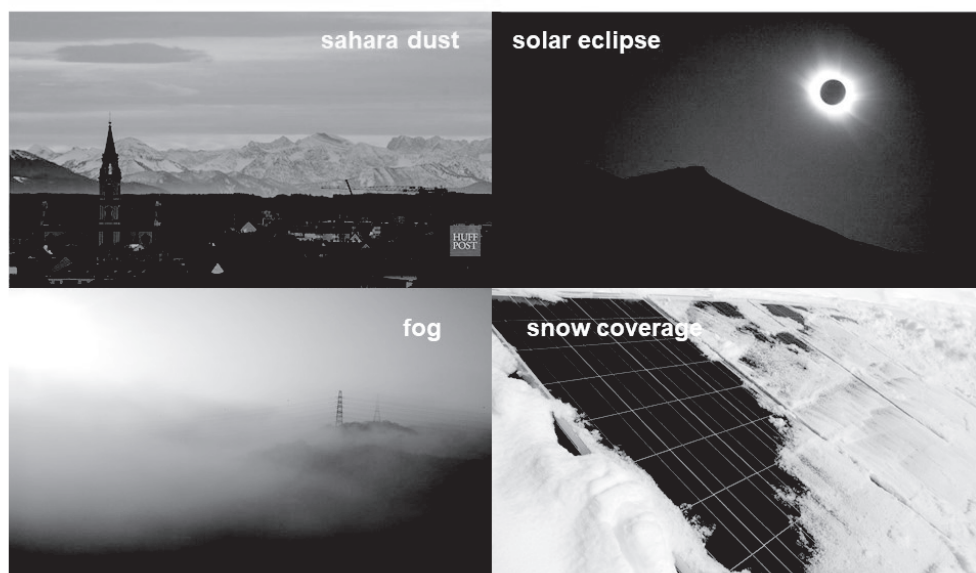
New operational challenges - wind



Source: Tennet

entsoe

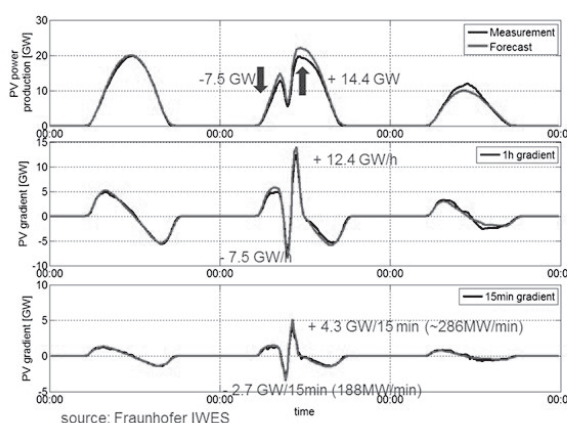
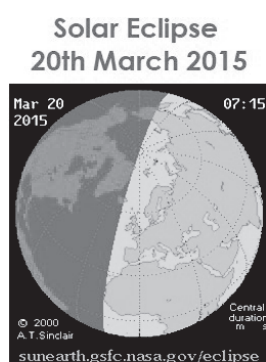
New operational challenges - solar



Source: Tennet

entsoe

Today's operational & market challenges will further increase with RES penetration: flexibility needs (ramping)



In 10 years from now similar ramping gradients will be there every time the sun sets!

Source: Tennet

entsoe

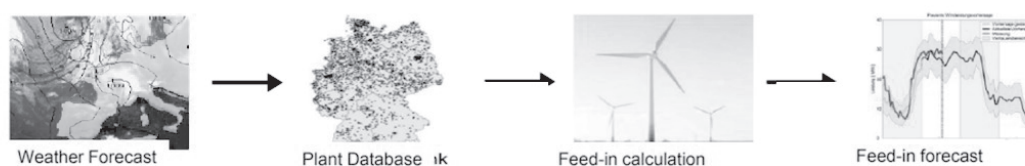
RES variability and system stability challenges: need for new ancillary services from new providers

Ancillary Service	Need development	Explanation
Inertia	=	- Demand increases slightly - Reduction of the provision of conventional power plants - Alternative provision required
Control power	↑	Increasing effect of forecast errors and wind flanks increase the need for reserve energy (currently compensated by shut down of huge plants)
Reactive power	↑	- Transmission system: Increasing demand by increasing transport distance and power transits - Distribution: increasing demand by fluctuating supply and increase cabling
Black start	=	- After NEP scenarios, sufficiently black start capable large power plants were identified (calm darkness) - Prerequisite: economical operation possible
Short circuit power	↓	- Reduction of the provision of conventional power plants - New digital protection devices can cope with this development

Main Source: Stephan Kohler (DENA) - „Sicherheit und Zuverlässigkeit einer Stromversorgung mit hohem Anteil erneuerbarer Energien.“ (18.02.2014)



Good RES forecasts are key to successful integration



- ❑ Day-ahead forecasts for wind and solar leave room for improvement in intraday.
- ❑ European TSOs are building up strong competences in short term forecasting and intraday trading.
- ❑ Estimates are applied where real time data are not available.
- ❑ Service providers deliver online data and forecasts. They are continuously benchmarked against each other.
- ❑ Remaining deviations after market closure are to be levelled out by TSOs by activating control power

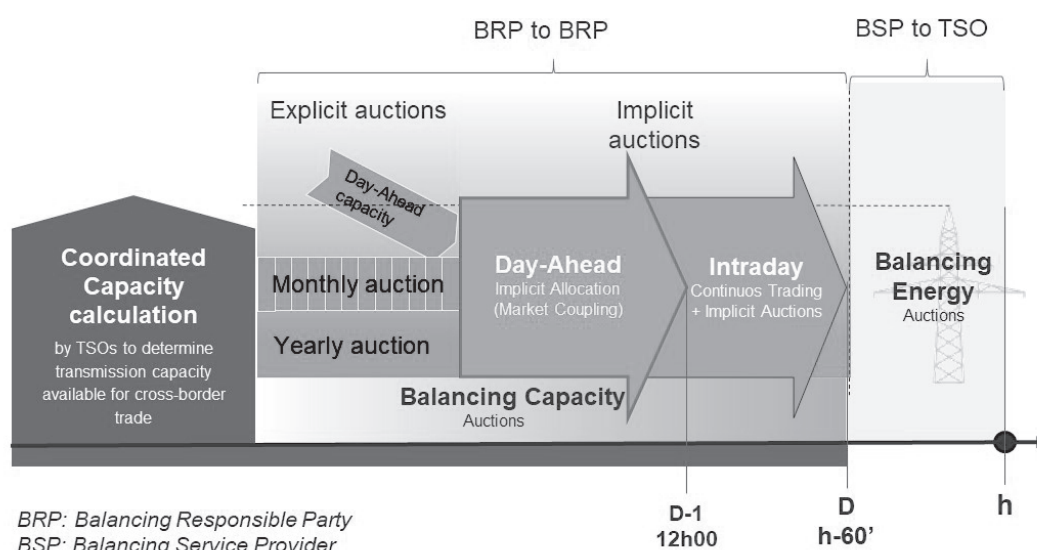
Source: Elia & 50Hz



The importance of markets & market design

21

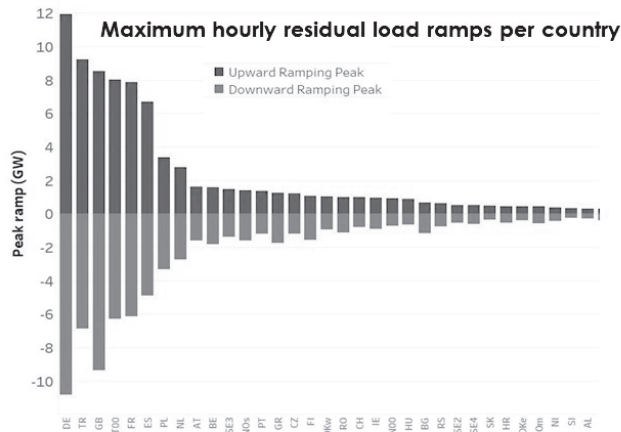
European Electricity Markets: the Target Model



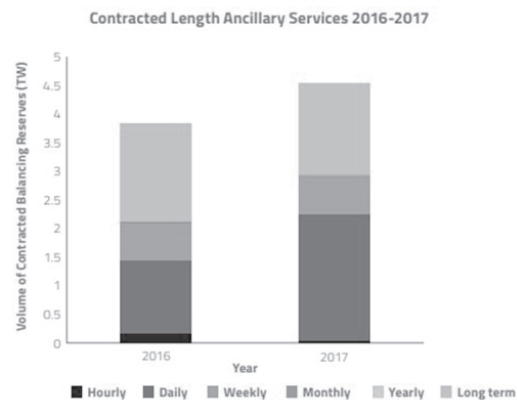
entsoe 22

Impact on system needs: ramping and ancillary services

As Variable RES progressively replace conventional generation....



...ramping and reserve needs increase

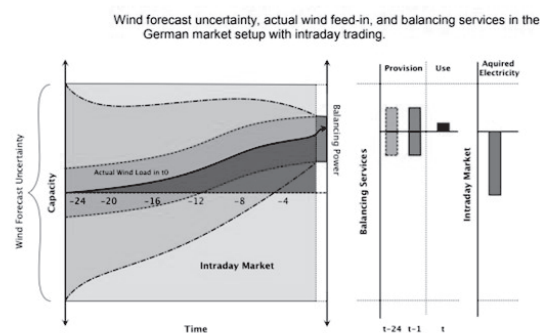
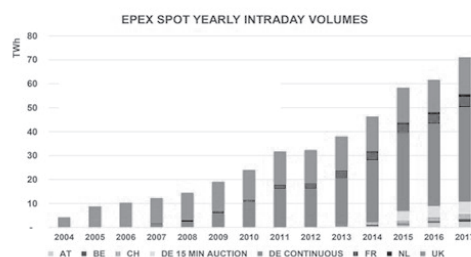
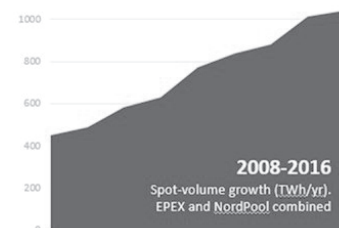


...and reserves are procured more in shorter timeframes to adapt to new service providers

24

How Markets can facilitate RES integration

- Liquid and competitive **wholesale markets** lead to **efficient prices** and **reliable price formation** for long term investments
- As **forecast errors** of RES production **improve significantly** closer to real time, **Intraday markets** become more and more important
- **Intraday markets** with gate closure close to real time (e.g. 1h) allow market participants to rebalance their position:
 - **Less balancing reserve** requirements for TSOs
 - **Lower imbalance risks** for RES producers



Source: Climate Policy Initiative

RES Integration: regulatory framework & market design

As **RES technologies mature** and the cost for support schemes and ensuring grid access rises significantly, it is important to **integrate RES into liquid, well-functioning and fit-for-RES wholesale markets** (day-ahead, intraday, balancing):

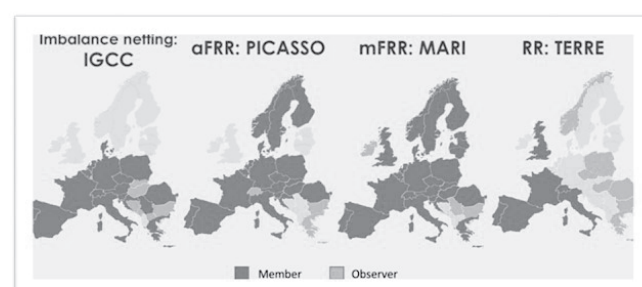
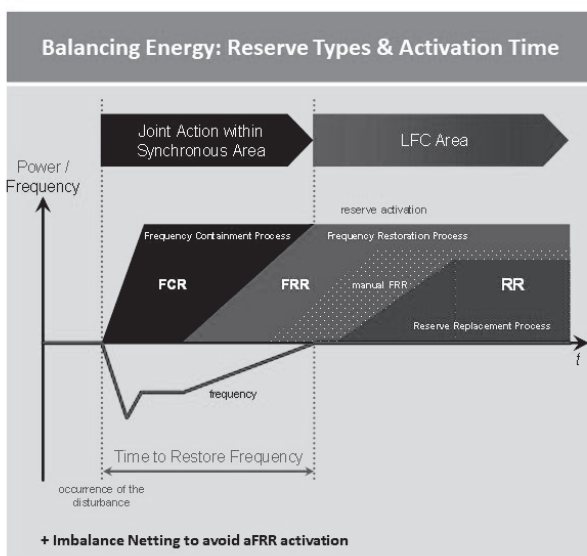
- 1 **Expose mature RES to wholesale price signals:** replace feed-in tariffs with premiums on wholesale prices, investment subsidies or green certificates.
- 2 **Adapt Market rules & products to facilitate RES participation:** shorter gate-closure times, smaller minimum bid sizes, shorter balancing procurement timeframe
- 3 **All RES need to have balancing responsibility** (i.e. submit schedules like all generators and pay if they deviate in real time)
- 4 **RES support level to be determined competitively** (auctions)



This will reduce the costs for System Operators to manage the system and for consumers to support RES development



ELECTRICITY BALANCING GUIDELINE



Procurement	Geographical Scope	Application
Balancing energy	European-wide	Obligatory
Balancing capacity	Regional	Optional
Cross-zonal capacity allocation	Regional	Optional

25

Getting the market design right: Price signals reflecting the real cost of electricity

- ❑ Prices should **drive power usage, dispatch and investments**
- ❑ Prices should **reflect the actual situation** of the system, pricing scarcities (eg. adequacy), system costs (eg. congestions) and valuing ancillary services
- ❑ Market **processes and products** should allow all market participants to contribute to system needs



entsoe

MARKET DESIGN SHOULD ENCOURAGE DEMAND RESPONSE

Allow customers to play their part in supporting the system and therefore reduce need for additional expansive or inefficient generation capacities

HOW?

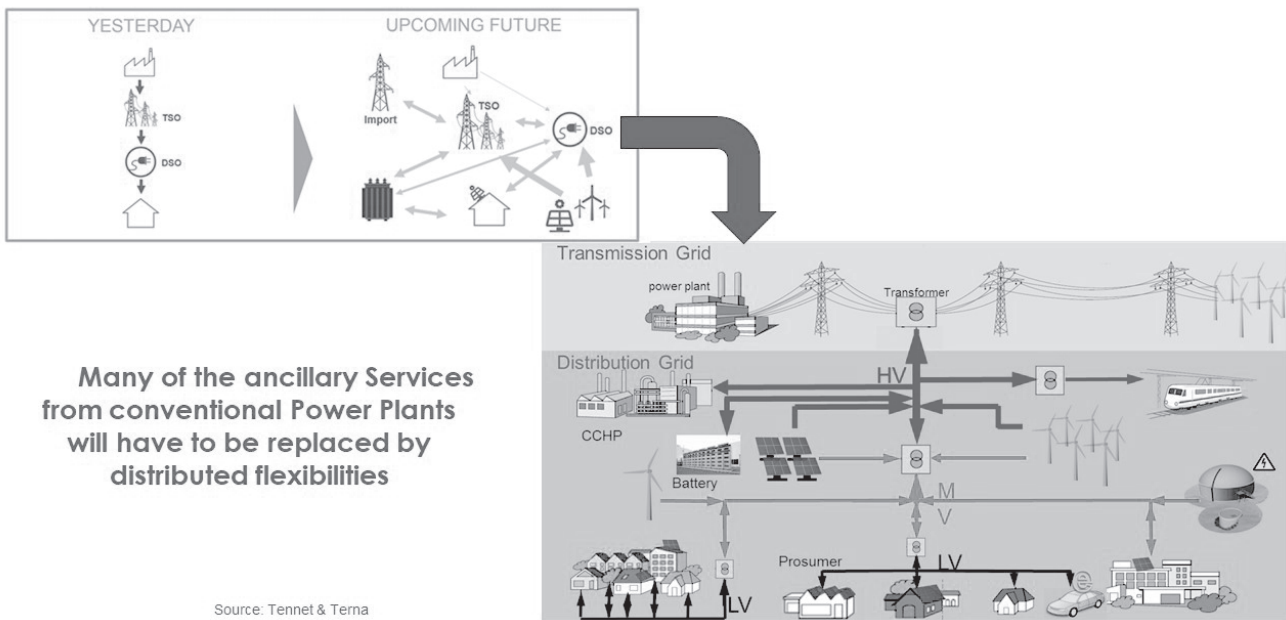
- ❑ Move from **flat rates** to **dynamic pricing** (reflecting the state of the system)
- ❑ Avoid the **price-blunting effect** of some taxes and levies put on electricity
- ❑ Offer customers different types of **power contracts/options** to make profit of their flexibility potential
- ❑ Allow customers to **value their flexibility** in all markets and regardless of which grid they are connected to or which supplier they have contracted

entsoe 28

Decentralisation and TSO-DSO cooperation

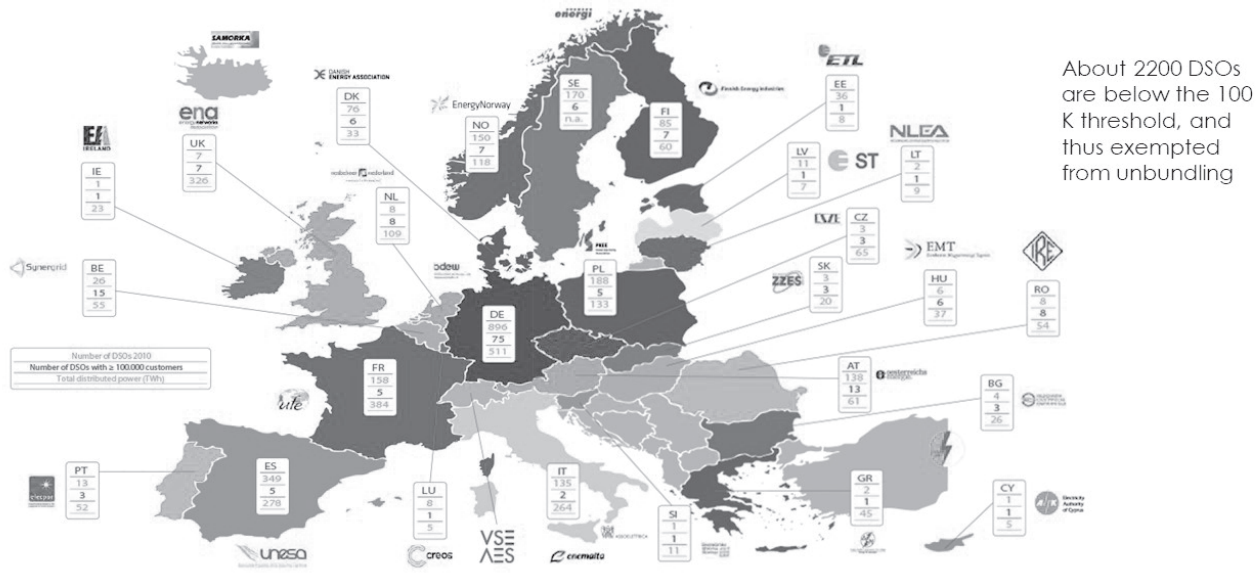
29

Effects of RES and Decentralisation on our energy system

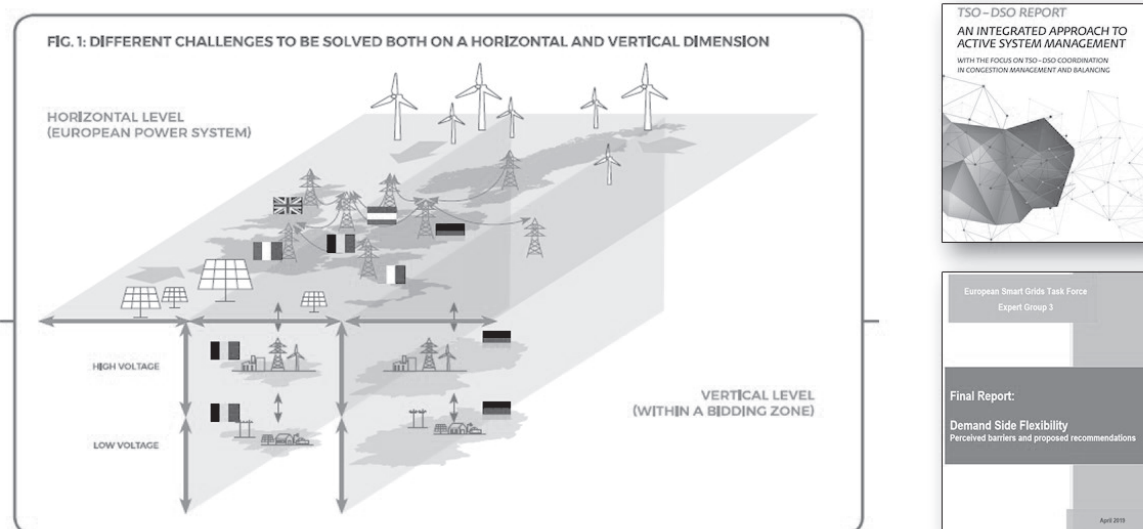


TSO-DSO cooperation in Europe: a mixed picture

Comparing 43 TSOs vs. 2700 DSOs in Europe



From horizontal (TSO-TSO)...to vertical (TSO-DSOs) cooperation



Source: Elia

entsoe 32

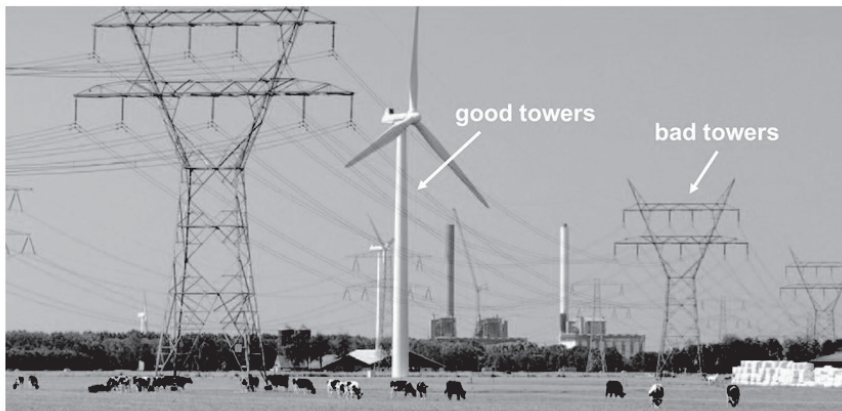
The toolbox of TSOs and DSOs to unleash flexibility potential, beyond network reinforcement: Active System Management



The importance of grid infrastructure

Grid development is key for RES development & integration

- To **connect** new generation facilities
- To **transport** RES infeed to demand centers (often distant)
- To alleviate internal grid **congestions: reducing RES curtailments** and redispatch costs
- To **export** surplus generation to other countries...and **import** in times of deficit



However, public acceptance (and permitting) remains a difficult issue...

35

THE NO GRID SCENARIO

Source: ENTSO-E Power System 2040



Failing to invest in infrastructure will cost Europeans 40 billion euros per year as of 2040.

©ENTSO-E All rights reserved



Wasting more than 150 TWh of clean electricity and increasing risks to security of supply.

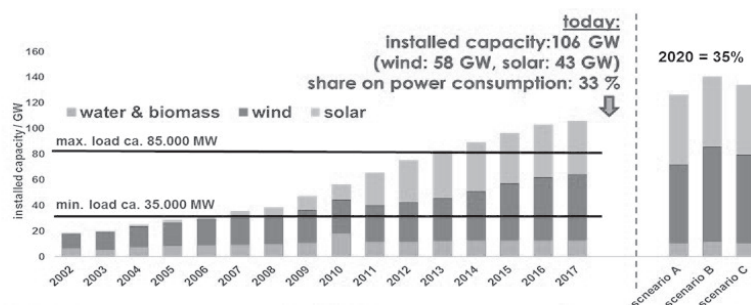


Investing in **#infrastructure** is crucial for Europe. **#EnergyUnion**

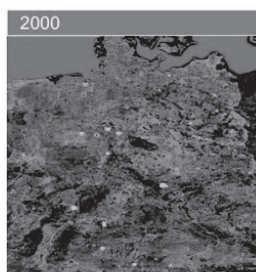
Country experiences: Germany

entsoe 37

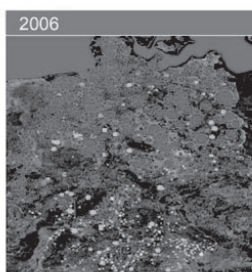
Development of RES installed capacity in Germany



Source: AGEE, BMWi, BNetzA
(Energy-Charts.com)



2000
- ~ 30,000 plants
- 1,665* MW installed Wind in Germany



2006
- ~ 221,000 plants
- 2,233* MW installed Wind in Germany



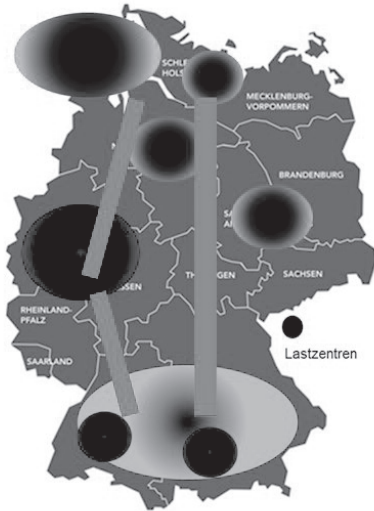
2016
- ~ 1,600,000 plants
- 45,910* MW installed wind in Germany

Source: Elia, BWE

entsoe

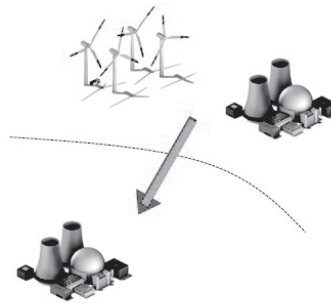
38

From close-to-load conventional generation towards regional concentration of RES



Measures to secure transport with grid congestions:

- ➔ corrective switching
- ➔ redispatch and security reserves
- ➔ curtailment and compensation



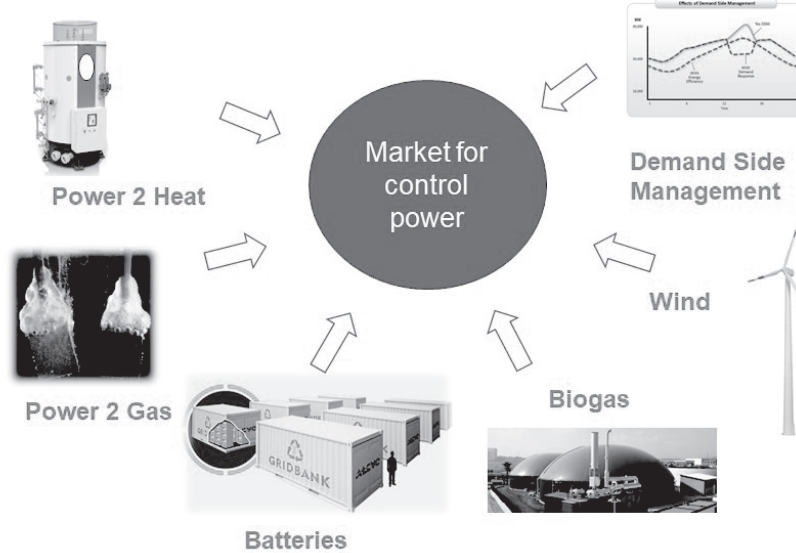
"In 2019 we expect costs of 1.2bn € for redispatch, countertrade, feed-in compensation and reserves"

Source: Tennet

39

entsoe

New technologies



Source: Tennet

entsoe

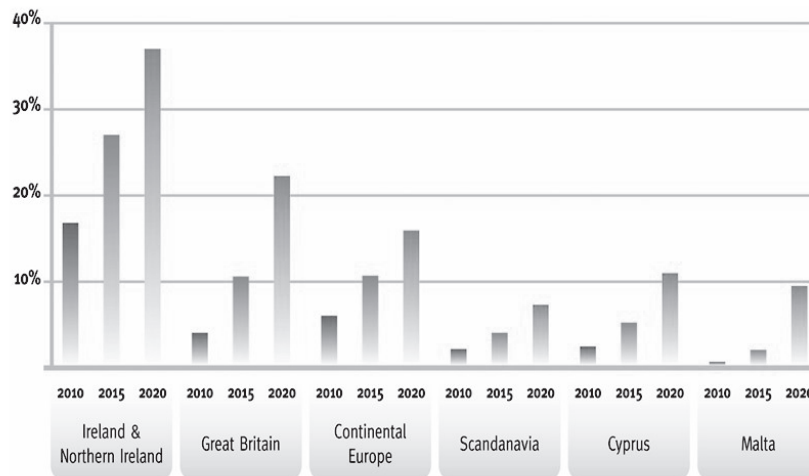
How would a renewable dominated system look?

- **A strengthened electricity grid** on all voltage levels
- Existing conventional generation is restructured towards a **more flexible mix with peak, balancing and backup power plants to secure SoS**
- **More small & large scale electric storage** systems will buffer the volatility of wind and solar feed-in
- A new generation of **SCADA-Systems deals with BIG DATA** and unlocks **distributed flexibilities** of RES and prosumers
- Via Smart meters **prosumers will contribute to the flexibility market**
- **RES / Storage Systems** contribute to the **ancillary services market**
- **From local to regional markets also for balancing energy**



Country experiences: Ireland

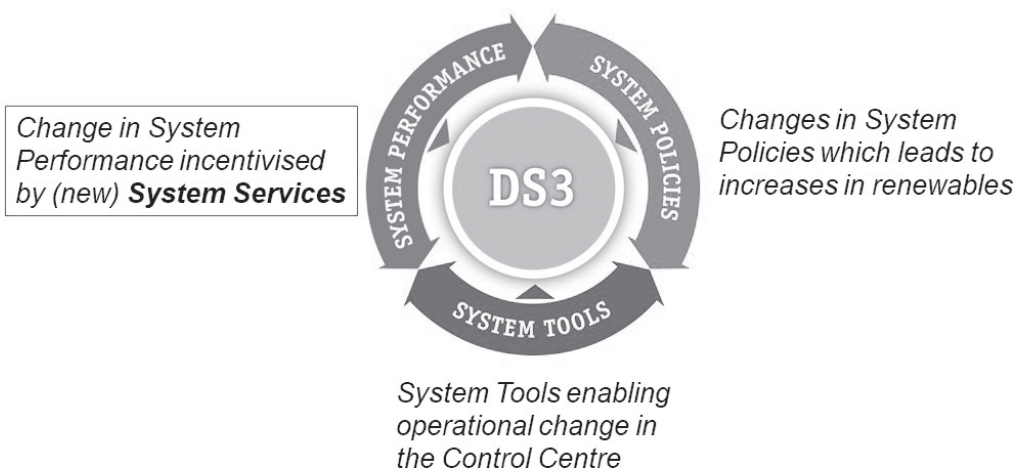
EirGrid is seeing the impacts first...



* Based on analysis of National Renewable Energy Action Plans (NREAPs) as submitted by EU Member States

entsoe

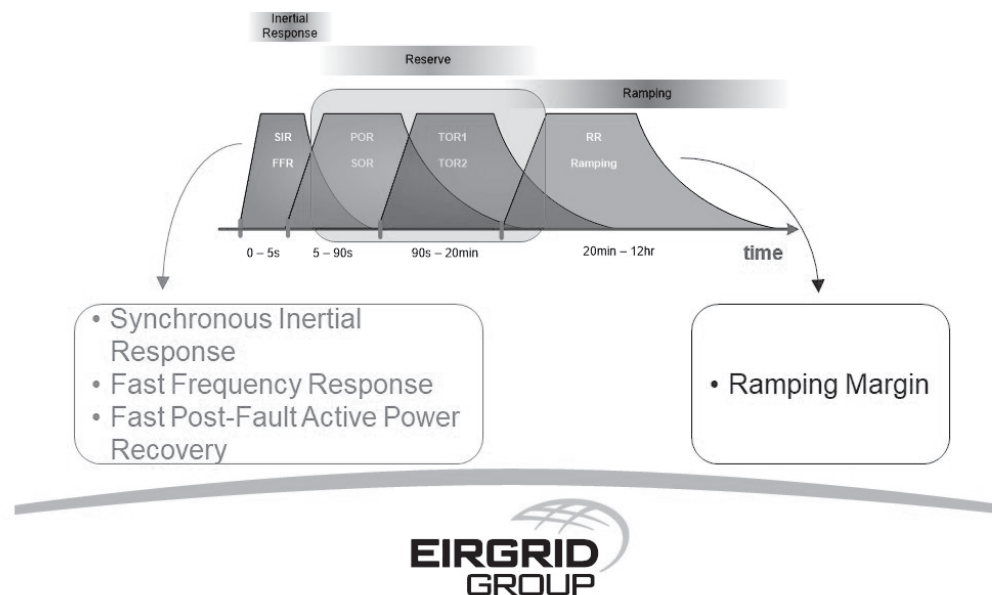
Eirgrid DS3 programme: delivering transformational change



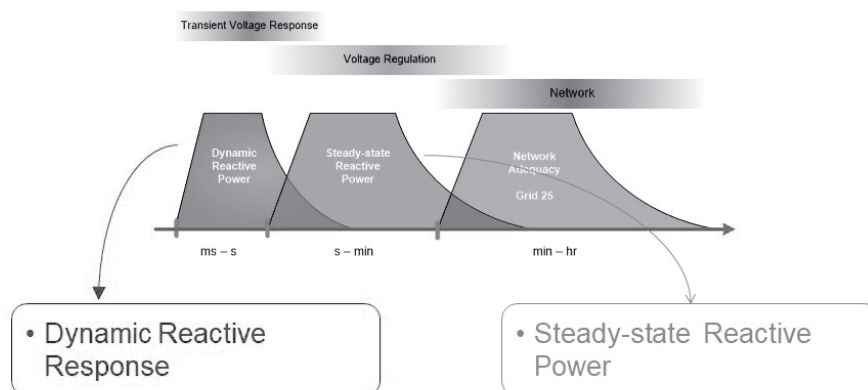
Source: Eirgrid

entsoe

New Ancillary Services to meet system scarcities



...and not just frequency-related



Source: Eirgrid

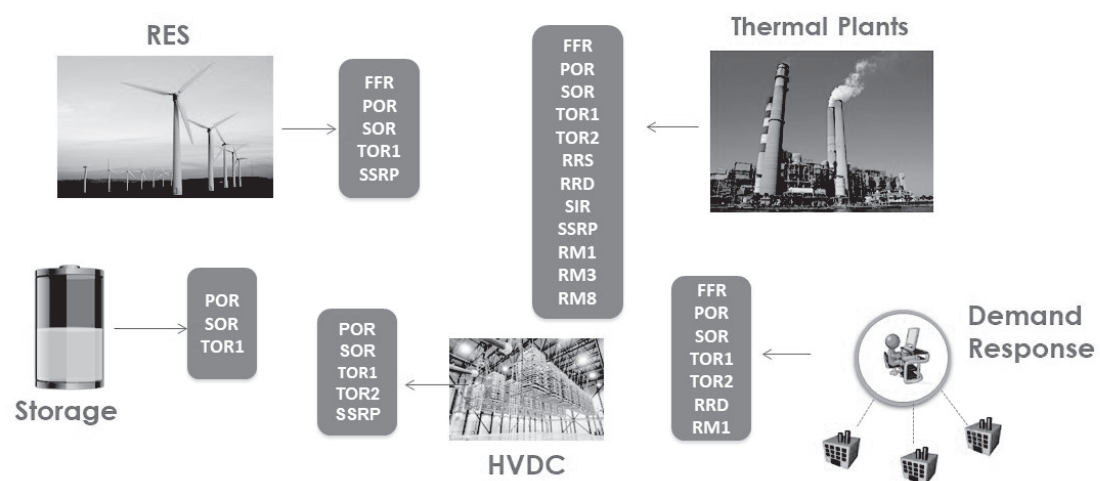
System Services - Definitions

Service Name	Abbreviation	Unit of Payment	Short Description
Synchronous Inertial Response	SIR	MWs ² h	(Stored kinetic energy)*(SIR Factor – 15)
Fast Frequency Response	FFR	MWh	MW delivered between 2 and 10 seconds
Primary Operating Reserve	POR	MWh	MW delivered between 5 and 15 seconds
Secondary Operating Reserve	SOR	MWh	MW delivered between 15 to 90 seconds
Tertiary Operating Reserve 1	TOR1	MWh	MW delivered between 90 seconds to 5 minutes
Tertiary Operating Reserve 2	TOR2	MWh	MW delivered between 5 minutes to 20 minutes
Replacement Reserve – Synchronised	RRS	MWh	MW delivered between 20 minutes to 1 hour
Replacement Reserve – Desynchronised	RRD	MWh	MW delivered between 20 minutes to 1 hour
Ramping Margin 1	RM1	MWh	The increased MW output that can be delivered with a good degree of certainty for the given time horizon.
Ramping Margin 3	RM3	MWh	
Ramping Margin 8	RM8	MWh	
Fast Post Fault Active Power Recovery	FPFAPR	MWh	Active power (MW) >90% within 250ms of voltage >90%
Steady State Reactive Power	SSRP	Mvarh	(Mvar capability)*(% of capacity that Mvar capability is achievable)
Dynamic Reactive Response	DRR	MWh	Mvar capability during large (>30%) voltage dips

Source: Eirgrid

entsoe

Which Technologies are providing which Services?



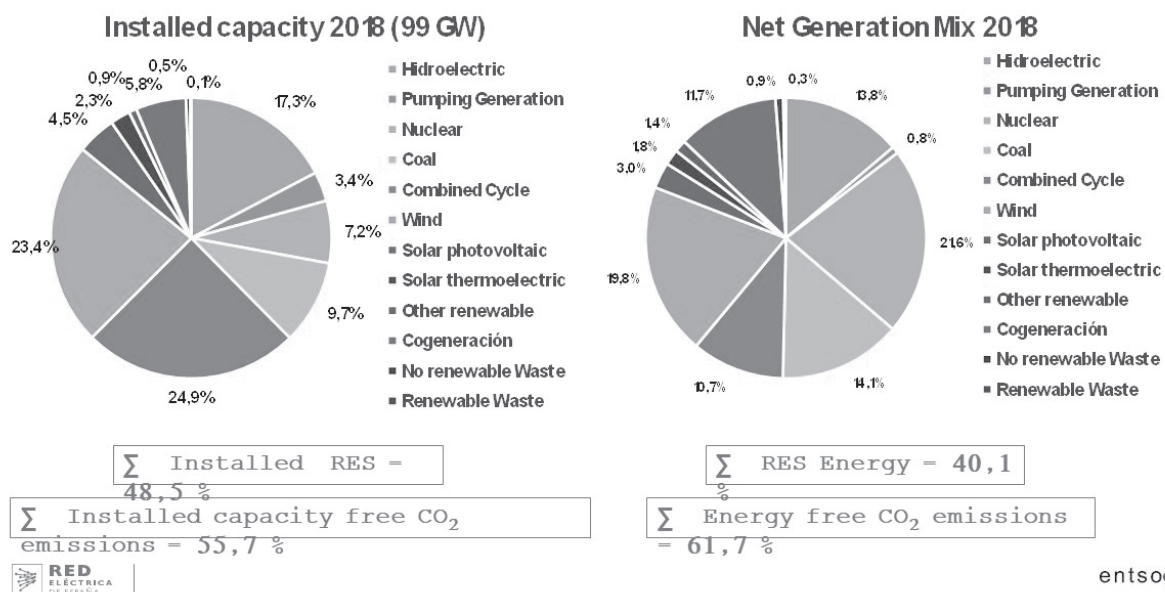
Source: Eirgrid

entsoe

Country experiences: Spain

entsoe 49

Renewable Energies in the Spanish Peninsular System



The Control Center for Renewable Energies (CECRE)



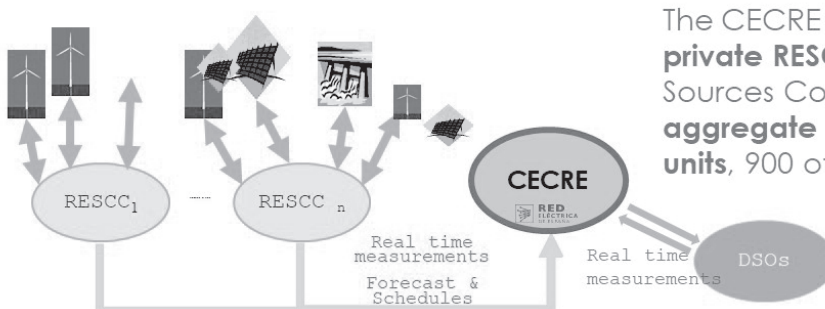
- ❑ Red Eléctrica España, the Spanish TSO, has established within its control room a dedicated **Control Center for Renewable Energies**
- ❑ **Real-time information** is provided to the CECRE for **generation modules > 1 MW**; **Controllability** is provided for **units > 5 MW**.

Observability

- Generation Aggregation → 1 MW



WIND connected to...		Observability
Transmission	Distribution	
65%	35%	100%

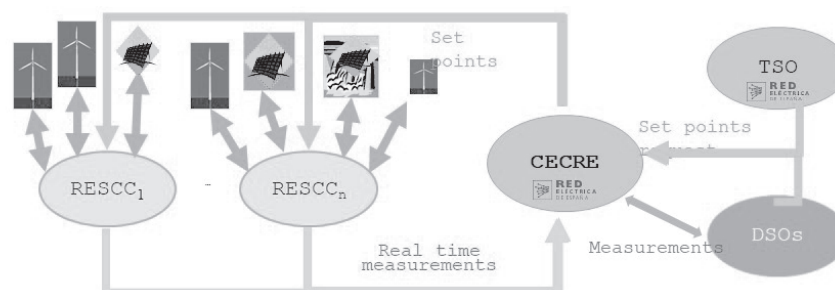


The CECRE communicates with **35 private RESCCs** (Renewables Energy Sources Control Centers) which **aggregate more than 3000 generation units**, 900 of which are wind farms

Contollability

- **Generation Aggregation → 5 MW**

- If curtailments are needed, active power set-points are calculated and sent
- The generation units must response to the given set-point quicker than 15 minutes
- Reduction priority considering the congestion bid of each generation



Summary of key
messages

RES Integration: from challenges to solutions

- **Clear, stable and forward looking regulatory framework** to facilitate RES investments
- Liquid wholesale **Intraday markets** with short gate closure time **to facilitate RES integration**
- **Balancing markets fit for RES and new service providers** (storage, demand response, etc.)
- **Market design to give price signals** to generation investments, dispatch and consumption **in line with system needs** (capacity, flexibility, congestion management, ancillary services)
- **Facilitate emergence of new technologies and business models for flexibility:** storage, demand response (incl. aggregators), flexible generation, interconnections, digitalisation
- **A strong grid at all voltage levels** to connect RES, manage congestions, reduce curtailments and compensation costs.
- **TSO-DSO cooperation** to manage efficiently flows, market interactions and data **with more decentralisation of the power system**
- **System operation tools** to manage increasing uncertainty, variability, congestions, complexity: **forecasting, visibility & controllability of RES, new ancillary services.**

entsoe

THANK YOU FOR YOUR ATTENTION



info@entsoe.eu



+32 2 741 09 50



For more information:
<http://www.entsoe.eu>



Av. de Cortenbergh 100
1000 Brussels Belgium

entsoe 56

재생에너지를 더 빨리,
더 많이 수용하는 방법,
유럽의 경험에서 배운다

-계통 연계 개선과 계통망 관리 이슈를 중심으로

발제 3

한국의 재생에너지 계통연계 현황과 정책

곽은섭 한국전력



한-EU 재생E 정책 워크숍

한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

2019. 9. 26

한국전력공사
계통계획처

계통연계부장
곽은섭(eunsup.kwak@kepcoco.kr)

CONTENTS

- I 재생E 계통연계 현황과 전망
- II 해외 재생E 연계 정책
- III 한국의 재생E 연계정책



한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

재생E 계통연계 현황과 전망

KEPCO

현 안

- (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

1

재생E 계통연계 현황과 전망

국가 에너지 전환 정책 (청정 에너지로의 전환)

신재생 3020 이행계획

- ▶ 원전, 석탄화력 비율을 줄이고, '30년 전체 발전량의 20%를 재생E로 대응'
 - 2030년 재생에너지 설비용량(누적)을 63.8GW(자가용 포함)까지 보급 계획
- ▶ 신규 설비용량의 95% 이상을 태양광·풍력 등 청정에너지로 공급



8차 수급계획

■ '31년 기준 58.6GW의 신재생에너지 계통 수용 전망

- 변동성전원(태양광, 풍력)은 51.4GW로 '31년 총설비용량(174.4GW) 대비 30% 점유 전망



출처 : 신재생 3020계획, 8차 전력수급기본계획, 산업부

2

재생E 계통연계 현황과 전망

신재생에너지 보급현황

- 변동성 재생E(태양광, 풍력) 설비용량은 신재생 총 용량의 50%, 신재생 총 발전량의 22% 점유
 - 총 발전설비 용량의 7.6%, 총 발전량의 1.96% 점유

구분	분	2018 (잠정)			
		설비용량(MW)	비중(%)	발전량(MWh)	비중(%)
총	발 전 설 비	123,950	100.0	593,638,503	100.00
	신 재생 에 너 지	19,027	15.35	52,052,217	8.77
	재 생 에 너 지	18,333	14.79	48,585,217	8.18
	신 에 너 지	694	0.56	3,466,954	0.58
재생	태 양 광	8,099	42.6	9,208,099	17.7
	풍 력	1,303	6.8	2,464,879	4.7
	수 력	1,798	9.4	3,374,375	6.5
	해 양	255	1.3	485,353	0.9
	바 이 오	3,065	16.1	8,697,600	16.7
	폐 기 물	3,813	20.0	24,354,957	46.8
	연 료 전 지	348	1.8	1,764,948	3.4
신	I G C C	346	1.8	1,702,006	3.3

출처 : 2018년 신재생에너지 보급통계 잠정치, 한국에너지공단

3

한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

재생E 계통연계 현황과 전망



신재생에너지 보급현황

□ 국내 변동성 재생E 수용률은 IEA의 Phase of VRE Integration 기준 Phase1 수준에 위치

○ 8차 수급계획 기준 2020년 Phase 2, 2030년 Phase 3 진입 예상

구분	VRE 발전량	계통 영향	과제	8차 수급계획 기준 Phase 진입
Phase 1	0~3%	재생E의 계통영향이 거의 없는 상황 접속점 근처 국지적 계통에 영향	Grid code에 추가사항 고려 국지적 계통영향 검토	현 수준
Phase 2	3~15%	재생E 용량이 계통운영 영향을 주는 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 계통 보강, 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)

4

한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

재생E 계통연계 현황과 전망

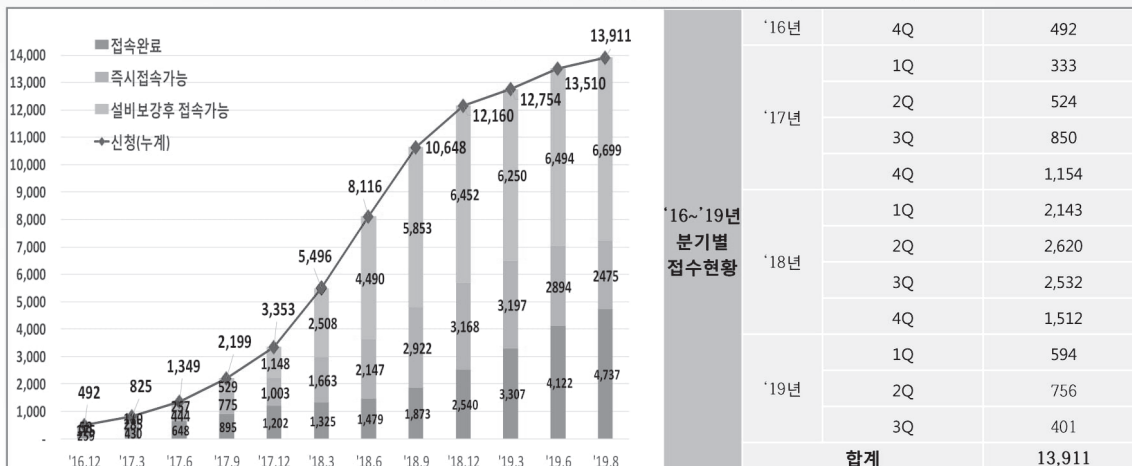


1MW 이하 소규모 재생E 접속신청 현황

□ 소규모 신재생 접속보장정책 발표('16.10월) 와 재생E 3020 정책 등에 따라 '17년 말부터 분기당 원전 1~2기(1~2GW) 수준으로 계통접속 신청 급증 ('19년이후 소폭 축소)

○ 소규모 신재생 접속보장정책 : 1MW 이하 신재생 사업자에 대해서는 접속용량 초과시 계통보강 비용을 원인자 부담에서 한전부담으로 면제해 주는 정책

【1MW 이하 재생E 접수 증가 및 접속대기 현황('16.10~'19. 8)】



5

재생E 계통연계 현황과 전망

국내 재생E 계통연계 전망

□ 호남 및 영남권 재생E 접속신청 집중화 현상은 지속될 것으로 전망

[단위 :GW]

구 분('31년)	수도권	강원권	충청권	호남권	영남권	제주권
태양광	4.1	2.2	4.8	12.1	5.3	0.6
풍 력	0.7	2.8	0.9	5.1	5.1	0.2
기 타	1	0.3	0.6	0.7	0.9	0
합 계	5.8 (12.2%)	5.3 (11.2%)	6.3 (13.3%)	17.9 (37.8%)	11.3 (23.8%)	0.8 (1.7%)

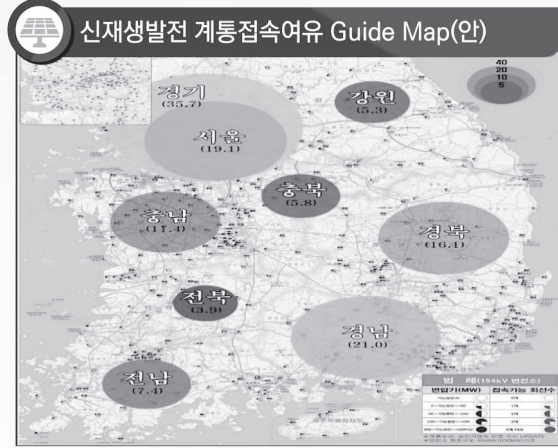
29.1GW

14.8 GW

3.5 GW

47.4 GW

* 8차 전력수급기본계획(58.6GW) 중 검토 당시 기준 기설분(11.2GW) 제외



7

재생E 계통연계 현황과 전망

1MW 이하 소규모 재생E 접속신청 현황

□ 일부 소지역 편중*에 의한 계통 포화로 변전소 등 설비건설시까지 접속대기 문제 발생

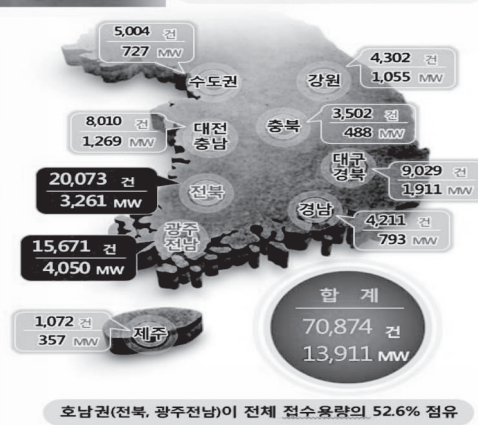
○ 1MW 이하 재생E 접속신청 용량의 72%가 호남(53%), 영남(19%)권에 집중

* 15개 지역 : 전남(강진,영암,신안,고흥,보성,영광,함평,무안), 전북(익산,정읍,김제,부안,고창,임실), 경북(상주)

【1MW 이하 재생E 계통접속 신청현황('16.10~'19. 8)】

구분	호 남	영 남	강 원	충 청	수도권	제 주	합 계
건수 (천건)	35.7	13.2	4.3	11.5	5.0	1.1	70.9
	50%	19%	6%	16%	7%	2%	100%
용량 (GW)	7.3	2.7	1.1	1.8	0.7	0.4	13.9
	53%	19%	8%	13%	5%	3%	100%

접수 현황 [1MW 이하 소규모('19.8.30기준)]



호남권(전북, 광주전남)이 전체 접수용량의 52.6% 점유

6

한국의 재생E 계통연계 현황과 정책



재생E 계통연계 현황과 전망

재생E 확산에 따른 송변전 설비 보강 계획 수립

- 재생E 계획 (입지, 용량, 시기 등) 불확실성으로 인한 명확한 송전망 계획 제시 곤란
 - 재생E 준비기간(2~3년)과 송전망 건설기간(6년 이상)간 차이를 고려 적기 송전망 보강계획 수립이 필요하나, 다수의 재생E의 중장기 사업개발 확정 어려움 등으로 장기 송변전 설비계획 수립 곤란
- ※ 제8차 수급계획에서는 연도별 총량만 제시
- 재생E 계통연계를 위한 설비계획은 투자리스크 최소화를 위해 확정계획과 잠정계획으로 구분
 - 잠정계획은 발전사업 이행성 조사, 지역 재생E 감시·제어 시스템을 활용, 주기적 Rolling으로 확정계획으로 전환

【재생E 계통연계를 위한 설비계획, 8차 장기 송변전 설비계획】

구 분	500kV	345kV	154kV	154kV	송전선로		
	변환소	변전소	G/S	변압기	500kV	345kV	154kV
확정계획	-	-	14개	73대	-	-	23개
잠정계획	8개	7개	69개	62대	4개	8개	103개
계	8개	7개	83개	135대	4개	8개	126개

※ 제9차 수급계획에서는 신재생E 발전사업 추진계획 조사 등 재생E 지역별, 연도별 재생E 계획반영으로 설비계획 근거 마련 노력

8

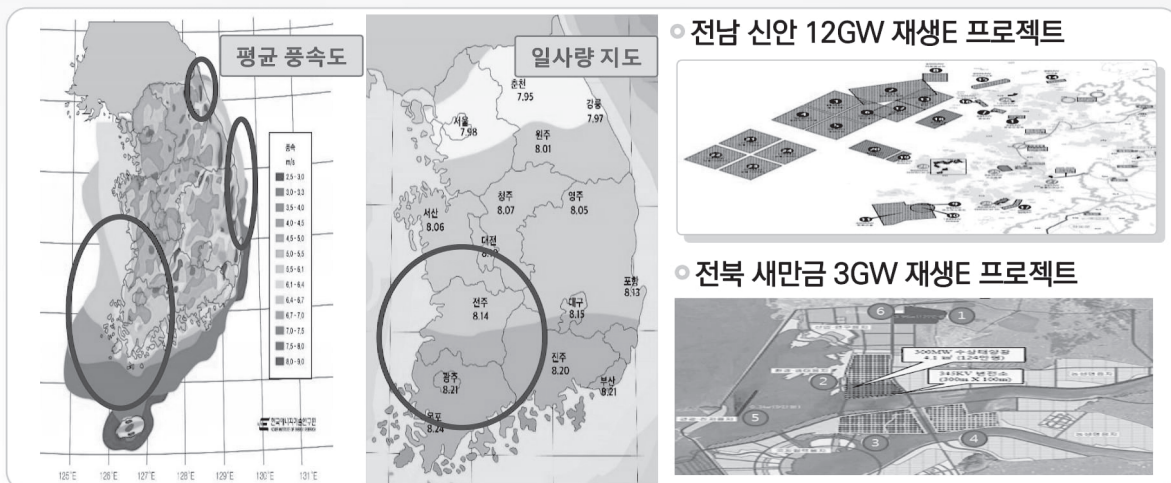
한국의 재생E 계통연계 현황과 정책



재생E 계통연계 현황과 전망

송전급 대규모 재생E 프로젝트 계통연계 진행

- 저수요 지역으로 전력계통 인프라 부족하나, 풍황, 일사량, 지가 등 사업여건이 우수한 서남해안 지역에 다수의 대규모 재생E 프로젝트 계획(진행) 중
 - GW급 재생E 발전력을 부하 집중지역으로 수송하기 위한 대규모 접속선로 건설 및 공용망 보강 필요
- ※ 다수의 재생E가 개별 접속설비 구성에 따른 사회적 비용 절감과 비용분담 등 고려 필요



9



해외 재생E 연계 정책



KEPCO

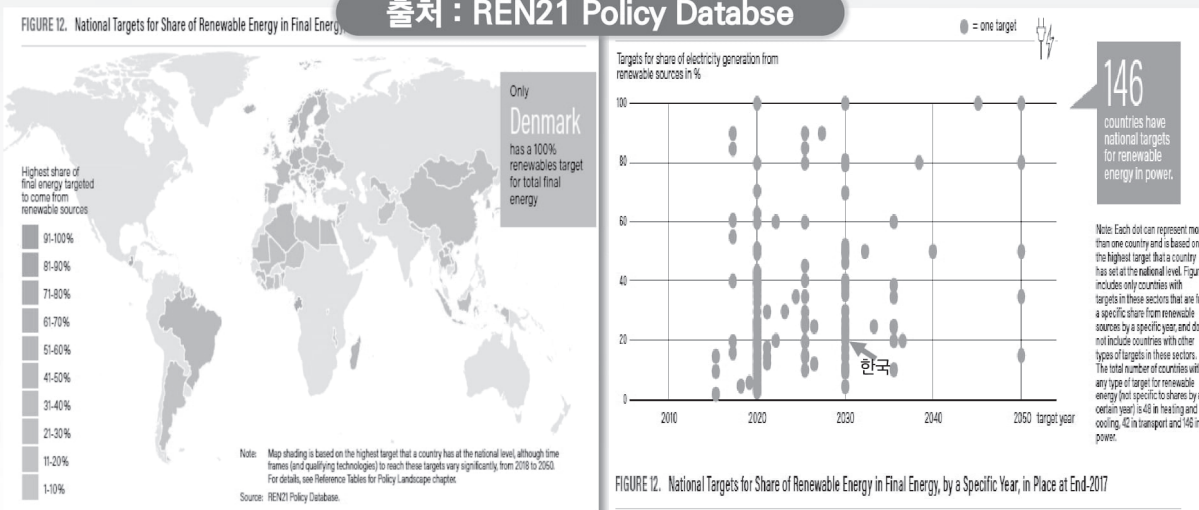
한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

해외 재생E 연계 정책

KEPCO

국가별 재생E 비율 목표

출처 : REN21 Policy Database



- ◆ 덴마크의 경우 신재생 에너지율 100% 목표
- ◆ 유럽은 국가간 계통연계가 활성화 되어 있고, 브라질 등은 많은 수력 자원 보유
- ※ 한국은 전력계통이 고립되어 있으며, 향후 풍력, 태양광 위주로 확대예상

한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

해외 재생E 연계 정책

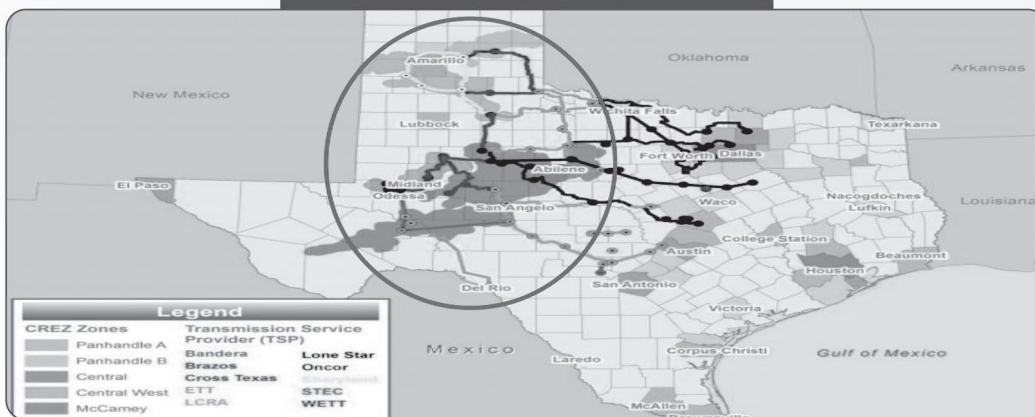
KEPCO

계획입지제도 적용사례-텍사스 ERCOT*

□ 개요

- CREZ(Competitive Renewable Energy Zone)는 텍사스 북서부 지역에 조성한 풍력발전의 경쟁적 전력시장 발전을 위해 요구된 송전망 보강을 선제적으로 하기 위해 지정된 지역
- 풍부한 재생에너지 자원을 장거리 송전선로를 통해 효율적으로 활용하기 위해 수립된 정책

CREZ 프로젝트 지도



* ERCOT(Electric Reliability Council of Texas : PUCT에 의해 규제받는 비영리기관, 계통운영자 및 시장운영자 역할)

11

한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

해외 재생E 연계 정책

KEPCO

□ 추진경과

- '03 ○ McCamey Plan(단계별 선로 확충 계획, 시발점)
예) 755MW 풍력발전소에서 생산한 값싼 전기를 송전선로 용량한계로 400MW 제한
- '05 ○ Texas Senate Bill 20 → 계획 입지 유도 법안
- Texas 2005 입법화
- PUCT는 CREZ 입지 설계(PUCT : Public Utility Commission of Texas)
- PUCT는 CREZ에서 발전한 재생E를 소비자로 보낼수 있는 송전선로 개발 계획
- '06 ○ ERCOT이 민간사업자(AWS Truepower)와 타당성 조사 수행 후 최적의 풍력발전 단지 구역 조성
- '07 ○ PUCT는 타당성조사 결과 반영 등 5개 Zone 선정
- '07말 ○ ERCOT은 송전선로 계통 최적화 연구 착수
- '08 ○ PUCT는 CREZ 18.5GW 발전단지 조성, 68억달러 송전선로 확충 계획 시나리오 선정
→ 발전단지/송전선로 규모 확정 및 공포
- '09 ○ PUCT는 송전선로 건설사(Transmission Service Providers)를 선정
→ 10개 송전선로 건설사를 통한 송전망 적기 확충
- '10 ○ 무효보상설비 및 계통 안정성 추가 검토
- '10~'13 ○ 송전선로 건설

◆ 장기간(약 7년) 계획수립, 단기간(약 3-4년) 건설 → 긴 준비기간, 짧은 시공

12

해외 재생E 연계 정책

재생E Curtailment

□ 재생E Curtailment 적용 사유

적용 사유	비고
① Commercial curtailment [가격]	• 국가간 연계의 경우 관세와 같은 비용적 사유에 의한 제약
② Commercial curtailment [수요,공급]	• 수요와 공급의 불일치에 의한 제약
③ Grid unavailability	• 계통망 건설지연 및 고장에 의한 제약
④ Grid management issues	• 주파수 등 그리드코드 규정에 의한 제약 • 효율적 계통망의 구성을 위한 제약 [발전사와 송전운영자 간 사전협의의 필요]

- ◆ 남아프리카, 텍사스(ERCOT)등의 경우 175시간(약 2%/연) 이상부터의 신재생 에너지 제약에 대해 보상을 시행 (출처 : CEEW Series, June 2018)
- ◆ 이탈리아는 풍력설비 확대와 송전망 확충 병행으로 풍력제한을 감소(1% 수준)
- ◆ 독일은 '13년 0.9%에서 3.5% (英) '13년 2%에서 5.4%로 풍력제한을 증가 추세 (출처 : 한전 경제경영연구원)

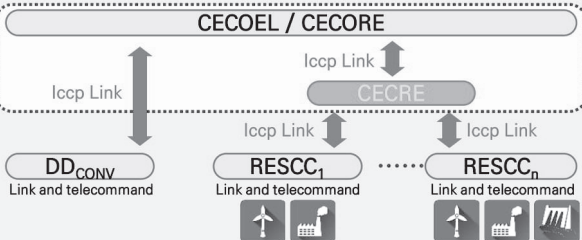
13

해외 재생E 연계 정책

재생E 운영(감시 제어)

스페인 재생발전 제어체계를 계층적으로 구분하여 운영

- ▶ 중앙감시운영센터~지역감시운영센터간 역할분담을 위해 운영체계를 계층적으로 분리운영



* CECOEL : 중앙계통운영센터, CECRE : 중앙 신재생감시운영센터, RESCC : 지역 신재생 감시운영센터

미국 계통안정을 위한 출력제한 운영, 기관별 출력제한방식 및 보상 방안 상이

Utility or Grid operator	AESO (앨버타-캘거리)	PSCO (콜로라도)	ISO-NE(뉴잉글랜드)	ERCOT (텍사스)	PJM (펜실베이니아 등)
출력제한 방식	자동	자동·수동	수동	자동	자동·수동
출력제한 보상	Yes	수급:Yes / 송전제약:No	No	No	No
주요참고사항 NREL : Wind and Solar Energy Curtailment	풍력 포함 발전기 중 가장 비싼 발전기 출력제한 대상으로 선정, 송전선로 한계량 설정하여 관련계통 발전기 출력제한대상 선정	Free 출력제한 협상 발전기→연방 투자세액공제 발전기를 제한→ AGC 발전기제한→일반풍력발전기(필요시), 풍력기중 2/3 AGC 가능	실시간으로 출력제한, 재생에너지에 균등한 비례 배분을 적용	5분마다 기준점 명령 자동 전달, 응동 못하는 재생발전 벌금 부과	'14년 자동화 설비 유도를 위해 수동방식 발전소 출력제한 보상을 하지 않는 것으로 제도를 변경

14

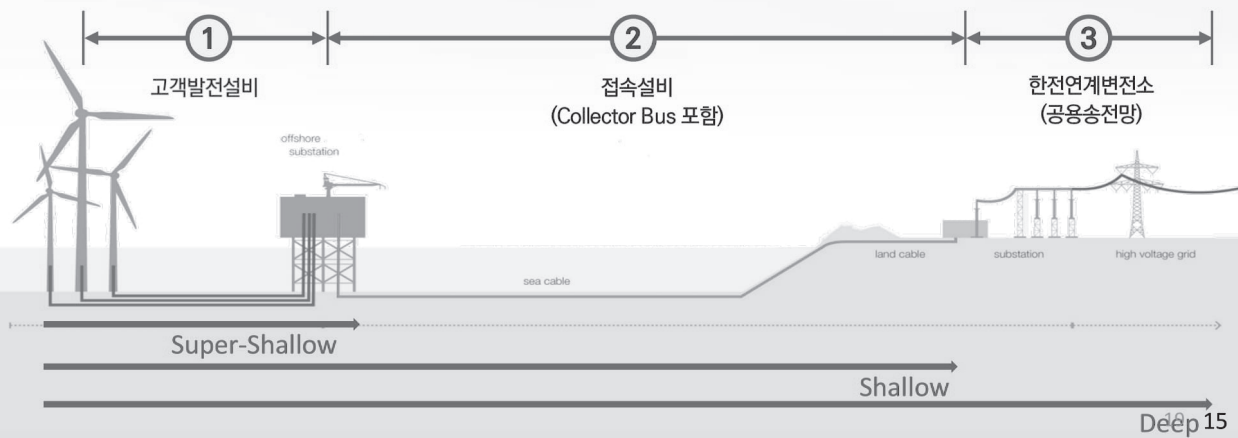
한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

KEPCO

해외 재생E 연계 정책

접속설비 비용분담 정책 (용어정리)

Super-Shallow	발전사업자가 발전단지 변전소까지의 비용을 부담 (①)
Shallow	발전사업자가 계통 연계지점까지의 비용을 부담 (①+②)
Deep	발전사업자가 모든 연계비용 및 공용 송전망 보강 비용 까지 부담 (①+②+③)
Deep-Shallow	발전사업자가 공용송전망 보강 비용을 일부 부담 (①+②+③ 일부)
Semi-Shallow	발전사업자가 연계비용을 일부 부담 (①+② 일부)



한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

KEPCO

해외 재생E 연계 정책

접속설비 비용분담 정책 (특징)

Shallow / Super-Shallow

- 송전망 운영자가 송전망보강 비용을 부담하기 때문에 신재생 발전 사업 추진에 유리
- DSO/TSO에서 송전망 보강 절차로 인한 프로젝트 지연 발생 가능성 증가
- 발전사업자 측에 송전망 보강 비용이 반영되지 않아 계통계획 측면의 비효율성 발생 가능성 증가

Deep

- 신규 발전설비 투입을 위해, 발전사업자의 아주 높은 선행 투자비용(Upfront investment)이 요구됨
- 발전사업자가 송전망 보강 비용까지 부담하기 때문에 발전사업자의 세밀한 타당성 조사 필요
- 신규 발전기에 의한 송전망보강으로 기존에 설치된 발전기들도 혜택을 받는 경우, 형평성 등 갈등 가능성 증가

해외 재생E 연계 정책

접속설비 비용분담 정책 (해외사례)

국가	접속 비용		계통 보강 비용		정책	국가	접속 비용		계통 보강 비용		정책	이름	접속 비용		계통 보강 비용		방법
	계통 운영자	발전 사업자	계통 운영자	발전 사업자			계통 운영자	발전 사업자	계통 운영자	발전 사업자			계통 운영자	발전 사업자	계통 운영자	발전 사업자	
오스트리아		○	○		Shallow	아이슬란드		○		○	Shallow/Deep	CAISO		○	○	○	Deep-Shallow
벨기에		○	○		Shallow	이탈리아		○	○		Shallow	ERCOT		○	○		Shallow
보스니아		○	○		Shallow	리투아니아		○	○	○	Deep-Shallow	ISO-NE		○	○	○	Deep-Shallow
불가리아	○		○		Shallow	룩셈부르크		○	○	○	Deep-Shallow	MISO		○		○	Deep
크로아티아		○		○	Deep	라트비아		○		○	Deep	NYISO		○		○	Deep
사이프러스		○		○	Deep	몰타		○		○	Deep	PJM		○		○	Deep
체코	○	○		○	Deep	네덜란드		○	○		Shallow	SPP		○		○	Deep
독일		○	○		Super-Shallow(해) / Shallow	폴란드		○	○		Shallow						
덴마크	○	○	○		Super-Shallow(해) / Shallow	포르투갈		○	○		Super-Shallow/Shallow						
에스토니아		○		○	Deep	루마니아		○	○		Shallow/Deep						
스페인		○	○		Shallow	스웨덴		○		○	Deep						
핀란드		○		○	Deep	슬로베니아		○	○		Shallow						
프랑스		○	○		Shallow	슬로바키아		○	○	○	Deep-Shallow						
그리스		○	○		Shallow	영국	○	○	○		Shallow(송) / Deep(배)						
크로아티아		○		○	Deep	노르웨이	○		○		Super-Shallow						
헝가리		○	○		Shallow/Deep	세르비아		○	○	○	Shallow/Deep						
아일랜드		○	○		Shallow	스위스		○	○		Shallow						

17

해외 재생E 연계 정책

접속설비 비용분담 정책 (한국) : Shallow

접속설비 비용부담

한전 : 발전기 접속에 따른 공용송전망 설비 및 보강비용
발전고객 : 송전 접속비용(공동접속설비는 계약전력 비례배분)

Shallow 정책

송배전용 전기설비 이용규정

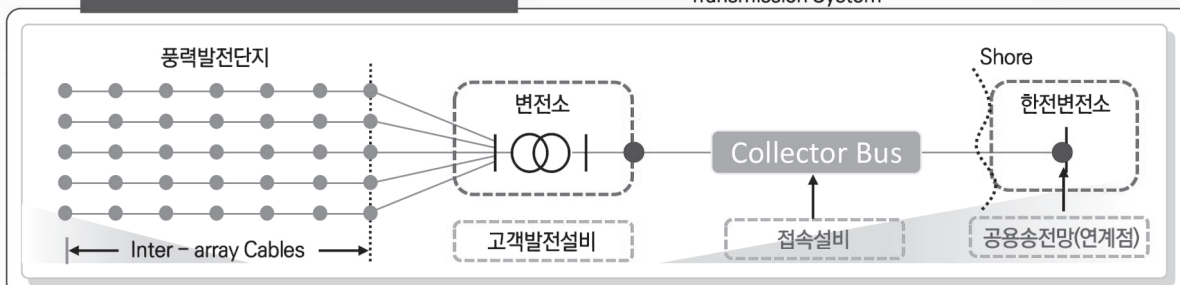
제 5장 송·배전 접속비용 및 공사의 시행
제 1절 송전접속비용

제 54조 [송전접속비용 부담 및 공용송전망비용 부담]

① 제25조[재산한계점의 결정]에 의해 결정된 재산한계점과 제32조[연계점의 결정]에 의해 결정된 연계점사이의 접속 설비는 고객이 비용을 부담하고 한전이 관리, 운영하기위해 소유합니다.

송전용 전기설비

Transmission System



18

한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

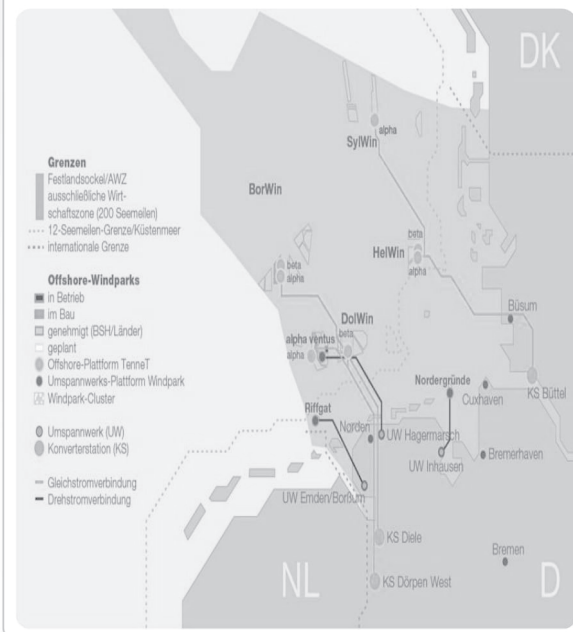
해외 재생E 연계 정책

KEPCO

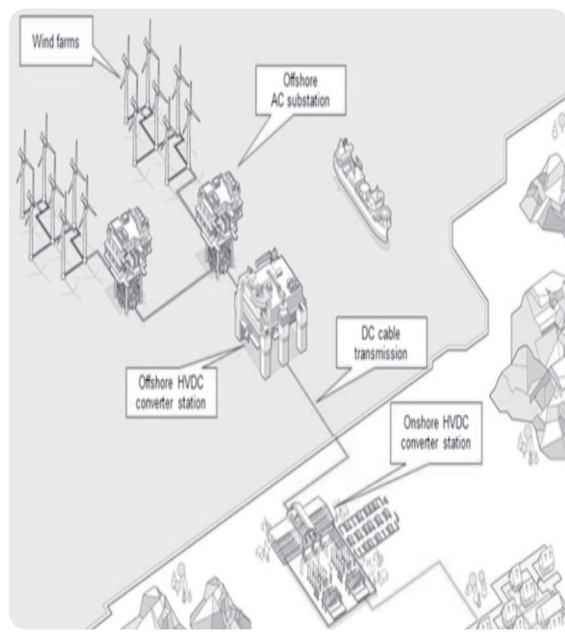
풍력단지 연계(안) 사례 검토

독 일

독일 북해 해상풍력 Map



해상 플랫폼 구성



19



한국의 재생E 연계정책



KEPCO

한국의 재생E 연계정책

설비별 접속용량 정책

▶ 배전선로 : 10MW/ 회선

▶ 154kV 변압기

- ① 1MW 이하는 계통보강 후 접속보장
- ② 송전접속은 규모에 관계없이 계통보강후 접속보장



▶ 송전망



- 송전접속 신재생E는 규모(용량)에 관계없이 계통접속 보장. 다만, 공용망 보강이 필요 할 경우 장기간 소요 가능

20

한국의 재생E 연계정책

송전망 여유지역으로 재생E 입지선정 유도

▶ 특정지역 다수사업자(소규모) 편중으로 난개발 및 대규모 송전망 보강 유발

* 재생E 계통접속 여유지역 : 수도권, 영남지역 등

▶ ①계통여유지역 접속유도 ②재생E 분산화 정책 개발

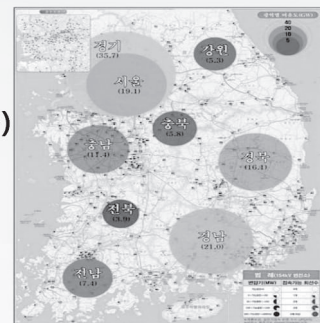
- 대규모 발전단지 구성 후 계통 여유지역으로 접속(1단지 1접속)

* (예) 폐지 발전소 부지활용 또는 인근에 신규 입지 유도 등

- 재생E 분산화 정책 개발 중

* (정책 예시) REC 차등, 계통용량 사전고시제, 접속비용 차등적용 등

▶ 효율적 재생E 계통접속을 통한 계통자원 활용성 증대



<예> 재생E 계통접속 여유지도>

▶ (예) 전남서해안 12GW급 재생E 발전단지 연계방안

- (배경)지자체, 사업자의 대규모 사업 계통확충 협조 요청

- (내용)단일 사업자별 접속→공동접속설비*(Collector Bus) 접속

* 공동접속설비는 한전이 건설하고 발전사업자 비용부담 (이용규정 개정필요)

- (효과)효율적 계통구성, 난개발 방지 및 사회적 비용 절감

* 이와 같은 다수 사업자의 형태는 사업자/ 발전 Aggregation이 중요



한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

한국의 재생E 연계정책

지역 재생E 감시제어시스템 구축

◆ 지역단위 재생에너지 감시·계측·제어와 중앙재생관제센터(거래소) 상호 정보제공

정전예방 전력품질

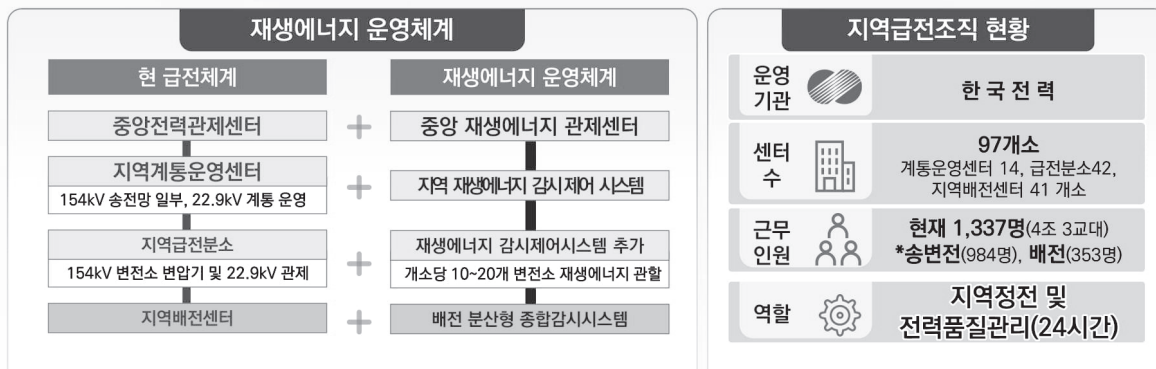
- 154kV 변압기(2,346개) 과부하·전압 관리로 지역 정전예방·전력품질 유지
- * 기존 한전의 지역 급전조직[계통운영센터+배전센터]과 운영시스템(SACDA, DAS) 활용

재생에너지 출력예측

- 재생에너지 출력 예측으로 실시간 지역계통안정도 평가기반 마련
- * 신재생 설치점 예측 → 154kV 연계변전소 단위별 예측 → 지역신재생 운영센터별 예측

전력계통 보강 효율성

- 지역별·재생원별 출력 특성을 반영을 통한 전력계통 보강 효율성 증대
- * 지역특성 : 강원(육상풍력), 영남(육·해상풍력), 호남(태양광·해상풍력)



22

한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

한국의 재생E 연계정책

지역 재생E 감시제어시스템 구축

◆ 전남 지역 재생E 감시운영시스템 구축완료('19.6)하고 실증 진행 중

- (구축대상) 전남지역 22.9kV 송전접속(전용선로) 18개 발전사(173MW)



23

한국의 재생E 연계정책

지역 재생E 감시제어시스템 구축 (메인화면)

◆ 전남 지역 재생E 감시운영시스템 구축완료('19.6)하고 실증 진행 중



- * 한전 사내망을 통해 접속 가능 (현재 본사 계통운영센터와, 전남 계통운영센터에서 모니터링 시행 중)
- * 변전소 별, 발전소 별 출력 감시가 가능 (주기 : 4초 주기로 수신) □ 9월8일(일) 일평균 풍속 1.2m/sec, 일조시간 0.5hr
- * 전사 확대 예정 (정부 및 유관기관 협의 중)

24

한국의 재생E 연계정책

지역 재생E 감시제어시스템 구축 (메인화면)

◆ 전남 지역 재생E 감시운영시스템 구축완료('19.6)하고 실증 진행 중



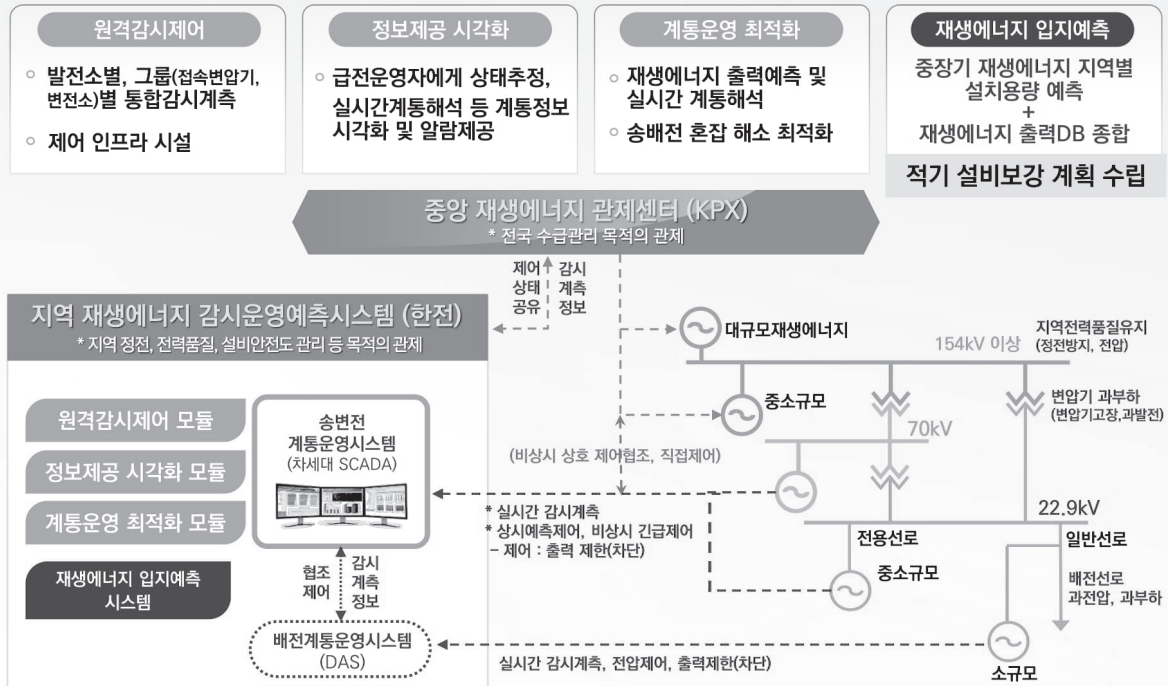
- * 한전 사내망을 통해 접속 가능 (현재 본사 계통운영센터와, 전남 계통운영센터에서 모니터링 시행 중)
- * 변전소 별, 발전소 별 출력 감시가 가능 (주기 : 4초 주기로 수신) □ 9월10일(화) 일평균 풍속 4m/sec, 일조시간 8.1hr
- * 전사 확대 예정 (정부 및 유관기관 협의 중)

25

한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

한국의 재생E 연계정책

지역 재생E 감시제어시스템 구축 (구성 및 체계)



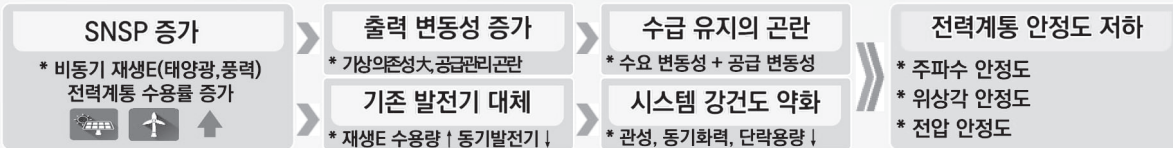
26

한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

한국의 재생E 연계정책

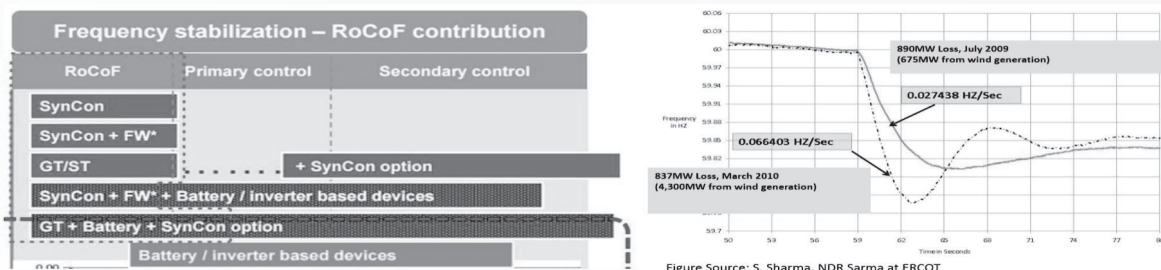
재생E 계통수용 한계와 경제성을 고려한 안정화 자원 확보 추진

- ▶ 태양광, 풍력 등 공급관리가 어렵고, 비동기 발전기&인버터 기반의 재생E가 일정수준 이상 동기발전기를 대체시 전력계통 안정도 저하 유발



- ▶ 재생E 수용률이 높은 해외 국가들은 Battery, 재생E 예비력 등 전력전자 기반 빠른 속도제어 주파수 응답과 부하탈락 등에 의한 **충분한 속도자원 확보**

* 인버터 기반 속도 자원의 응답시간 한계*로 일정 수준이상의 운동 관성력 유지노력 병행



左 계통안정 자원별 주파수 응답기여, 右 재생E 증가와 주파수 하락)

27

한국의 재생E 연계정책

재생E 계통수용 한계와 경제성을 고려한 안정화 자원 확보 추진

▶ RE3020 달성을 위한 계통안정화 대책

- (변동성 재생E 전망) 변동성 재생E는 **51.4GW**(태양광 33.7GW, 풍력 17.7GW)로 총 신재생 용량의 **87.7%** 점유 전망(8차수급, '31년)

- (분석조건) 재생E 변동성*과 과도 주파수 안정도** 2가지 측면 분석

* 재생E 1분 최대출력 변화(14.7%)에 대응하는 주파수 조정 예비력 확보용량에 의해 결정

** 최대 단위용량발전기(원자력1기) 고장 시 과도 주파수 하락이 59.7Hz 유지 여부에 의해 결정

- (안정화 대책) **3.75*GW(기존 1.5GW+추가 2.25GW 확보)** 수준 속응성 자원 확보

* ①주파수 예비력 추가, ② ESS 활용(또는 추가), ③재생E 주파수 응답 용량 확보 고려

** ESS, 재생E 제어 등으로 재생E 출력변동성 감소시 속응성 자원 필요량 감소 가능

▶ 주파수 속응자원 확보와 병행, 초기 주파수 하락률 완화에 기여 가능한 초속응성자원 도입 검토 필요

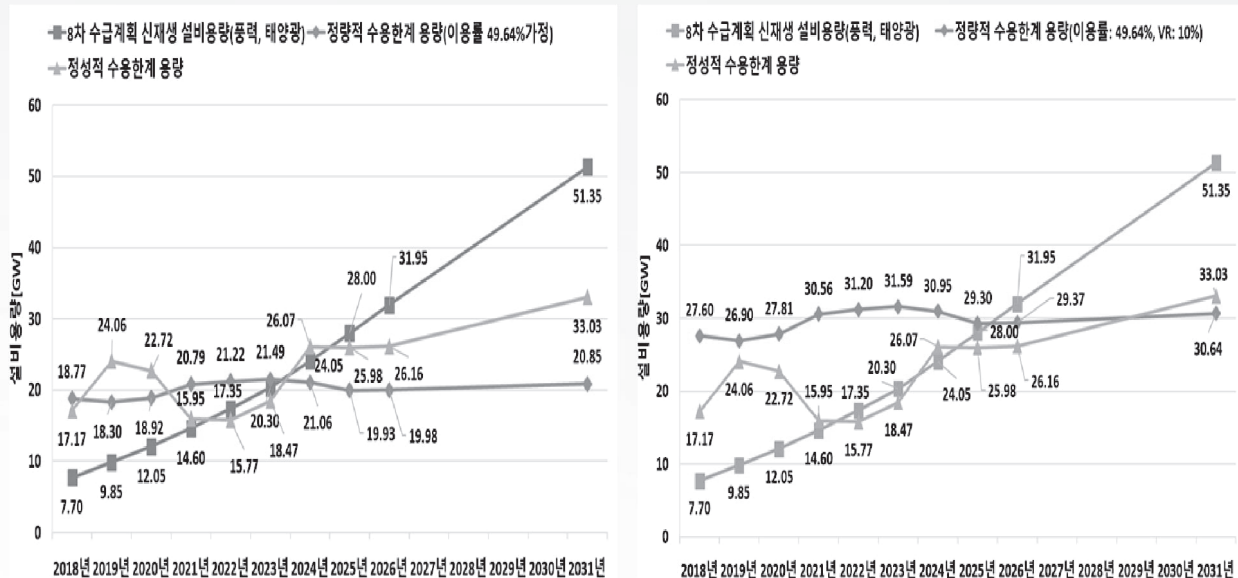
* 전통적 백업설비 대체 및 상시 운전과 비용 최적화가 가능한 자원 확보 방안(예 : 동기 조상기 + ESS 조합 등)

28

한국의 재생E 연계정책

재생E 계통수용 한계와 경제성을 고려한 안정화 자원 확보 추진

▶ (참고) 연도별 변동성 재생E 한계성 분석결과



左 재생E 1분 변동성 14.7% Case, 右 재생E 1분 변동성 10% Case

29

한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

한국의 재생E 연계정책

KEPCO

재생E 계통연계기준(Connection Code) 세부기준 신설 및 개정

▶ RE3020 달성을 위해 재생E 계통연계기준의 기술적 세부사항 보완 필요성 증대

* 재생E 출력 변동성 등 전력망 안정성 및 수용성을 고려한 전력망 연계 기술기준 등

▶ ① 송전계통 접속을 위한 재생E 기술요건 제시 ② 연계기준 준수여부 평가방안

- 변동성 완화, 전압/주파수 성능요구 등 재생E 특성고려 기술요건 제시

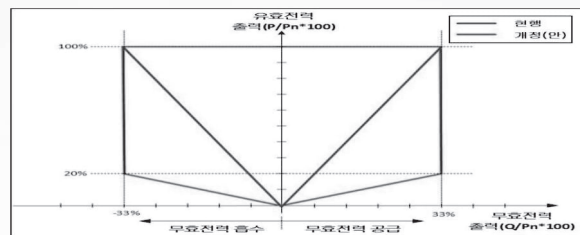
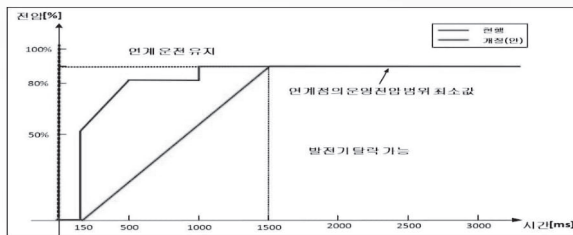
* 재생E 적용대상 확대, 계통연계 유지범위, 유·무효전력 공급/제어능력, 통신장치 의무화, 발전기 특성자료 제출 등

- 재생E 계통연계에 따른 단계별 계통연계기준 준수여부 평가방안 신설

* 송배전 전기설비 이용계약, 발전기 시운전 및 발전기 운영시 자료제출, 통신신호 활용 연계기준 준수여부 평가

▶ 재생E 연계에 따른 계통신뢰도 확보, 계통 안정운영, 전력품질 향상

* 진행사항 : 계통연계기준 개정 초안 마련, 제작사 및 재생E 공청회 진행 중



재생E 계통연계기준 개정(안) (左 계통연계 유지, 右 무효전력공급능력)

30

한국의 재생E 계통연계 현황과 정책

한국의 재생E 연계정책

KEPCO

재생E 계통수용 한계와 경제성을 고려한 안정화 자원 확보 추진

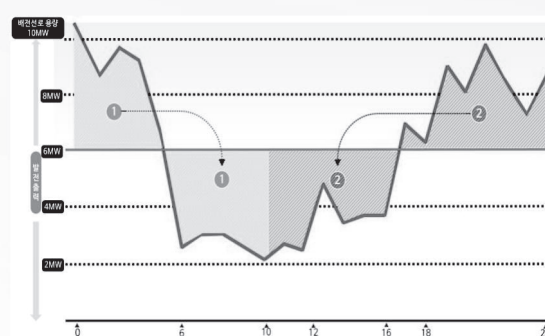
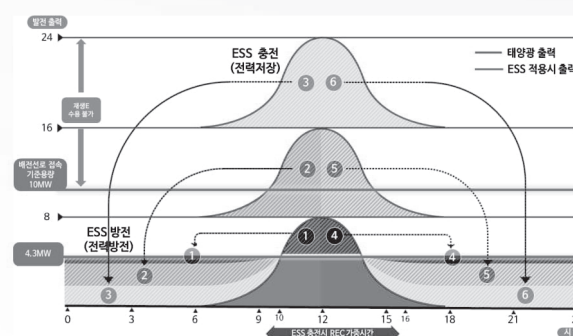
▶ 재생E 낮은 발전출력(이용률)으로 송전망 이용률 저하 우려

* 연평균 이용률:(태양광)14.3%, (풍력)20.4% * 1시간 최대 이용률:(태양광)79.0%, (풍력)75.8%

▶ 일정수준 초과 발전출력은 저장시스템(ESS 등)을 활용하여 시간대별 Shifting 하고, 저장시스템 미설치 계통은 일부 Curtailment* 시행

* '19.5 전남 재생E 감시시스템 구축완료 및 '20년 전국확대로 Curtailment 시스템 기반 확보

▶ ESS 등 활용 전력설비 이용률 제고 및 송전망 투자비 최적화 가능



ESS를 적용한 신재생에너지 출력안정화 예시 (左 태양광, 右 풍력)

31

한국의 재생E 연계정책

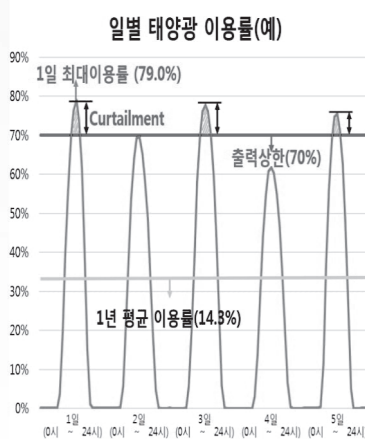
재생E Curtailment 제도 도입 추진

▶ 재생E 낮은 발전출력(이용률)으로 송전망 이용률 저하 우려

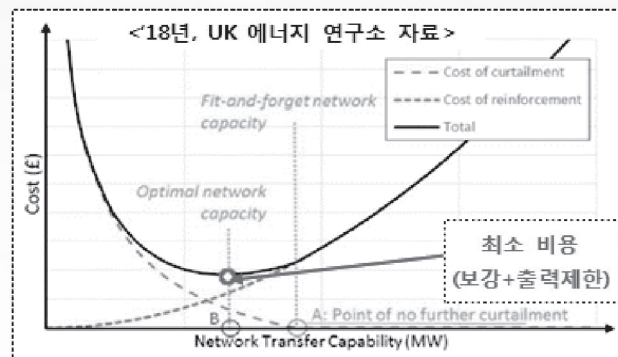
* 연평균 이용률:(태양광)14.3%, (풍력)20.4% * 1시간 최대 이용률:(태양광)79.0%, (풍력)75.8%

▶ 일정수준 초과 발전출력은 저장시스템(ESS 등)을 활용하여 시간대별 Shifting 하고, 저장시스템 미설치 계통은 일부 Curtailment* 시행

* '19.5 전남 재생E 감시시스템 구축완료 및 '20년 전국확대로 Curtailment 시스템 기반 확보



(해외사례) 설비보강비용과 Curtailment 비용 합이 최소화되는 지점을 최적 계통보강 용량으로 제안



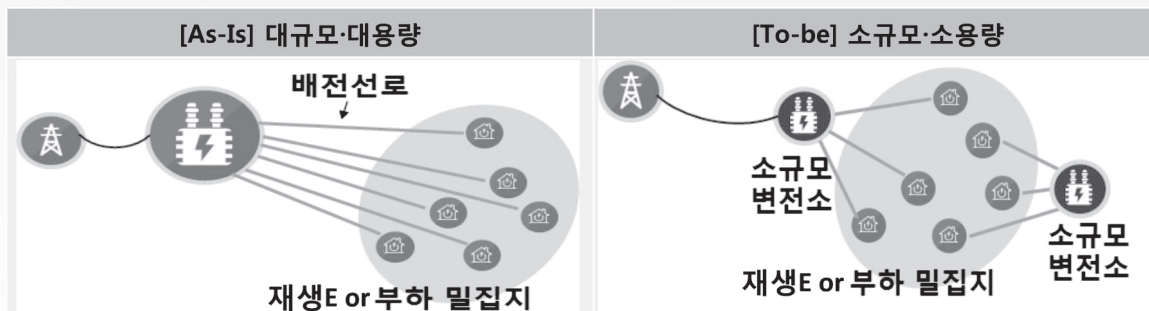
32

한국의 재생E 연계정책

송변전 계획·건설 패러다임 대전환

▶ 유연한 계획 : 소규모·소용량 설비 건설 추진

- (기존) 공급자 중심 대규모·대용량 설비건설 → 광역정전 리스크, 낮은 수용성, 대규모 투자수반
- (개선) 수요자 중심 소규모·소용량 설비건설 → 소규모 지역분산, 적기건설(재생E 적기접속)

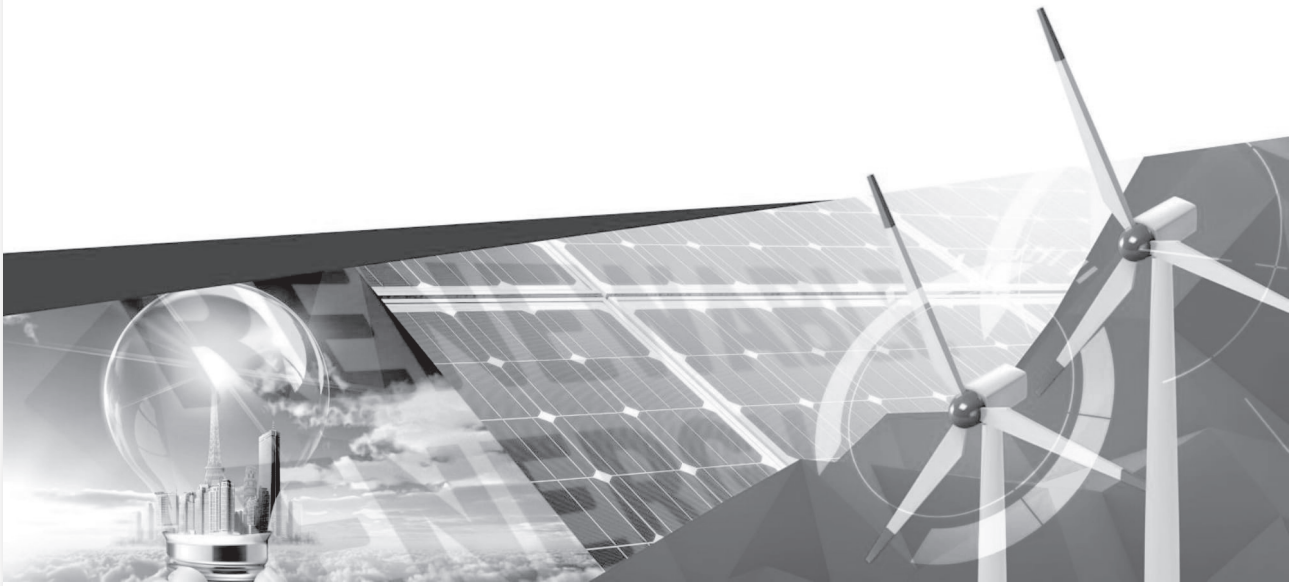


- (적용) 변전소 소형화(240MVA → 40~180MVA)
가공 송전선로 및 지중 전력구 건설 회피 (1공3조 관로 시공 추진)
- (효과) 변전소 건설기간 단축, 전력공급 손실 감축(배전 손실 최소화)
건설 수용성 증대 및 민원대응 유리

33



감사합니다



재생에너지를 더 빨리,
더 많이 수용하는 방법,
유럽의 경험에서 배운다

-계통 연계 개선과 계통망 관리 이슈를 중심으로

발제 4

재생에너지 확대에 따른 계통망 관리 현안과 대응 방향

옥기열 전력거래소





목 차



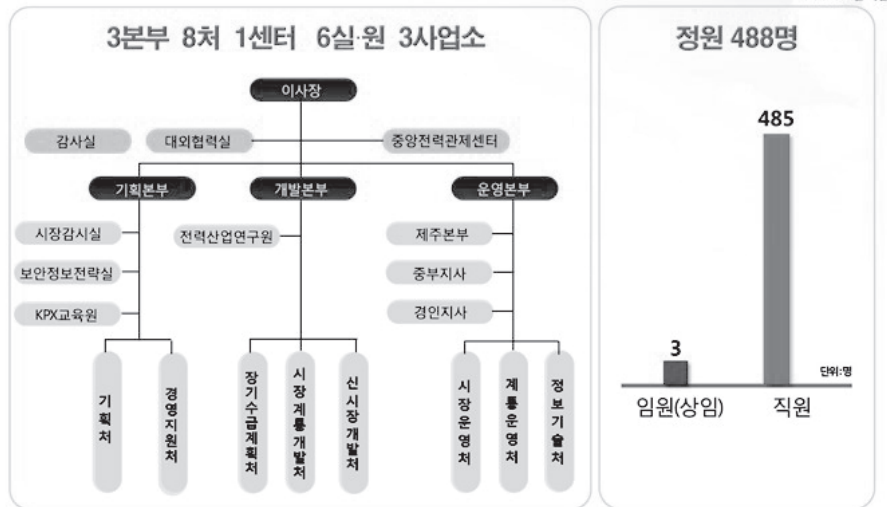
- 1 전력계통의 개요 및 현황
- 2 재생에너지에 따른 계통운영 현안 및 대응방향

1. 개요 및 현황 - 전력거래소는?



◆ 독립계통운영자 (ISO : Independent System Operator)

- (연혁) 전력산업구조개편(2001.4)에 따라 한전으로부터 분리 설립
- (기능) 전력계통운영 + 전력시장운영 + 전력수급계획 수립지원



4



1 전력계통의 개요 및 현황

1. 개요 및 현황 - 계통운영이란?



전기의 안정 공급을 위한 “전력설비 투자 및 운영에 대한 제반 의사결정의 조정·관리 활동”

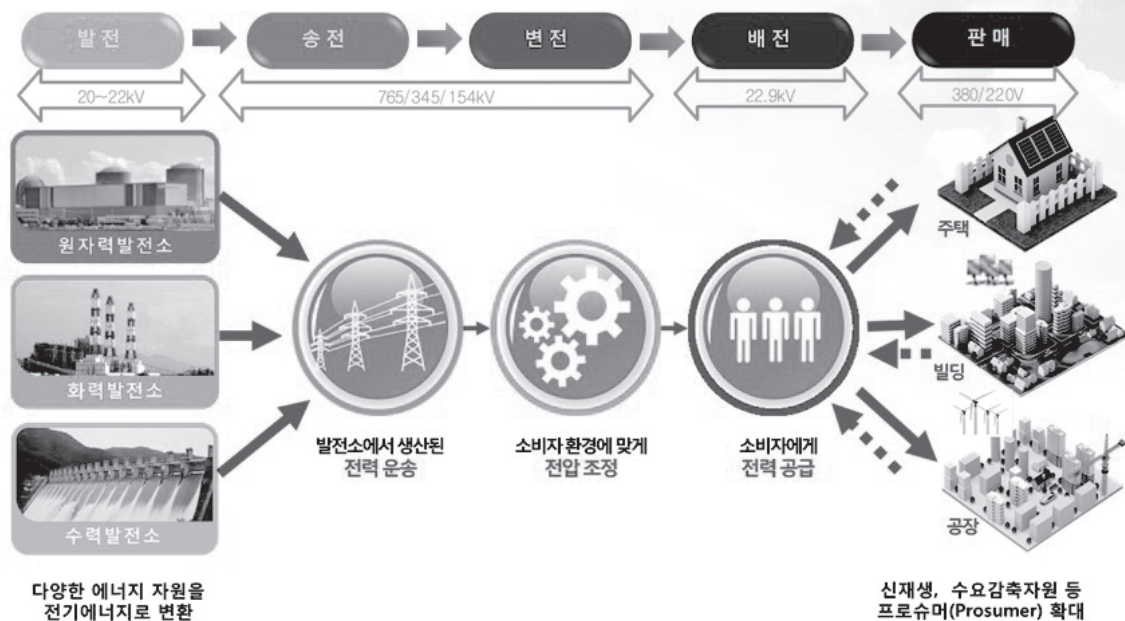


6

1. 개요 및 현황 - 전력계통이란?

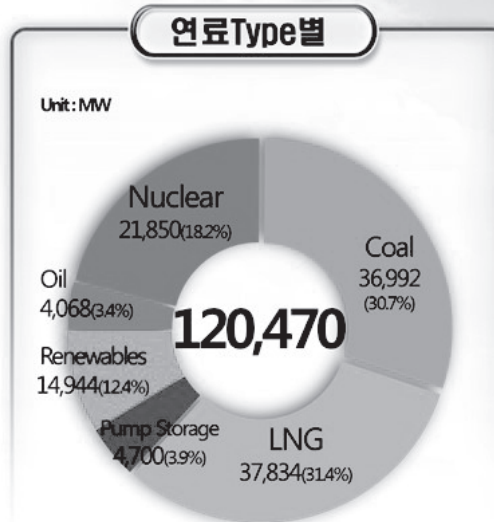
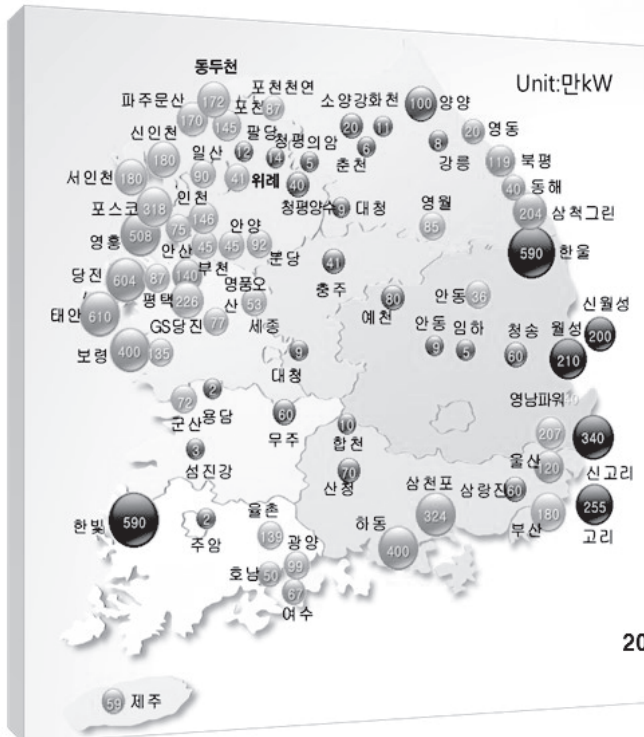


발전, 송배전, 소비에 이르는 전력의 생산과 소비가 이루어지는 시스템



5

1. 개요 및 현황 - 발전설비 현황



7

1. 개요 및 현황 - 송전설비 현황



Total Length : 33,951[c-km] (As of Jan, 2018)



Volt	# of S/S	Circuit Length [c-km]
765kV	7	1,019
345kV	112	9,746
154kV	713	22,831
HVDC	-	231
Total	839	33,951

8

1. 개요 및 현황 - 국내 전력계통의 취약점



◆ 발전설비

- (지역적 편재) 수요중심지에 멀리 떨어진 해안지역에 발전단지 집중
- (대규모 단지) 발전소 입지의 확보 곤란으로 발전단지가 대규모화
 - * 단지규모의 변천: (70년대) 2,000MW → (90년대) 4,000MW → (2000년대) 6,000MW 이상
- (단위용량 증가) 설비의 효율향상 및 규모의 경제성 확보를 위해 발전기 단위용량 증대
 - * (원전) 600MW → 1,400MW (석탄) 500MW → 1,000MW

◆ 송전설비

- (고립 계통) 인접국과 전력계통이 연계되지 않아 전력유통이 불가
- (복잡 계통) 협소한 국토 및 경제 집중으로 송전망의 복잡화 (mesh network)
 - * (장점) 전력손실 감소, 송전투자비 감소 등 (단점) 고장전류 증가, 전압안정도 악화 등

초고압 송전선로 탈락에 따른 과도안정도(발전단지) 및 전압안정도(수요지)가 주요 이슈

9

1. 개요 및 현황 - 주요 계통제약 현황

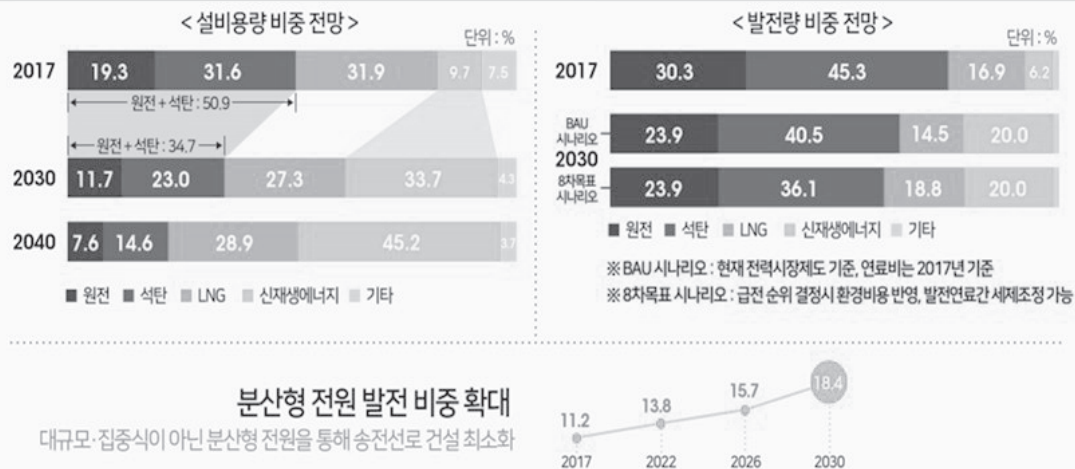


10

1. 개요 및 현황 - 재생에너지 정책목표



제8차 전력수급계획 (RE 3020)

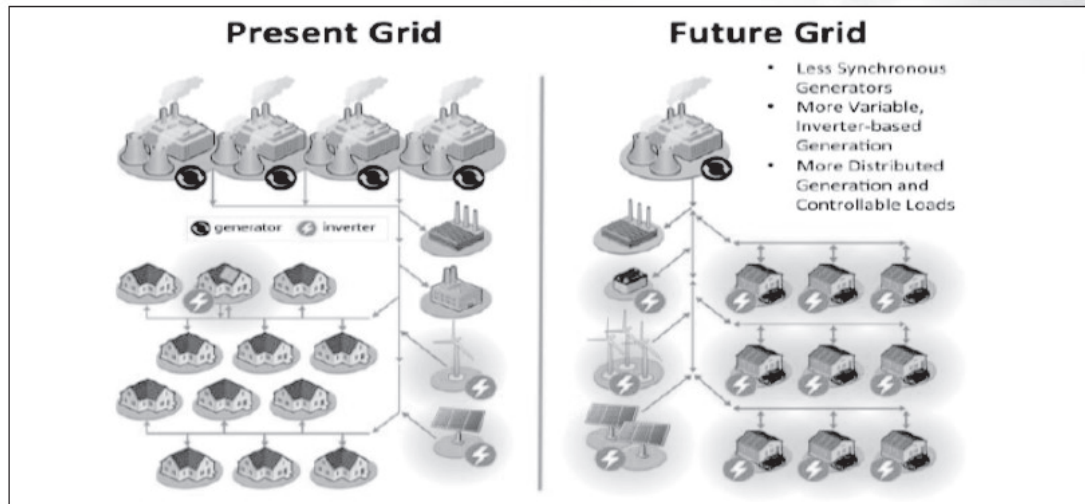


제9차 전력수급계획 (RE 4030~4035) - 진행 중

11

2 재생에너지에 따른 현안 및 대응방향

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - 패러다임 전환



- ✓ 급전가능발전기 (출력제어)
- ✓ 송전연계 소수의 발전기
- ✓ 동기발전기
- ✓ HVAC 계통



- ✓ 급전곤란발전기 (출력불안정)
- ✓ 배전연계 대량의 발전기
- ✓ 인버터설비 (inverter-based)
- ✓ HVDC 확대 (hybrid system)

13

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - 전환 단계별 이슈



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

★ 국내 상황 및 대응 단계

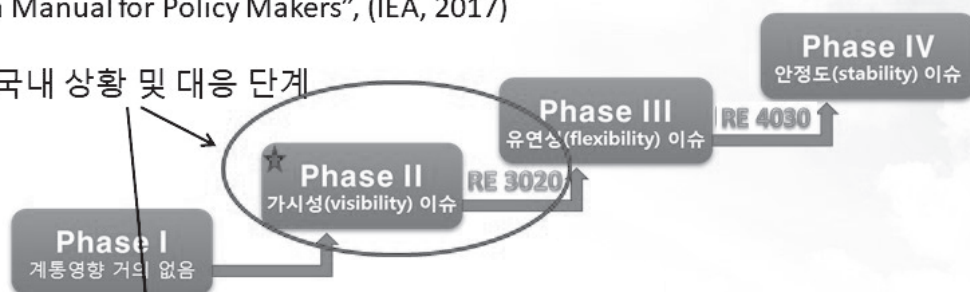
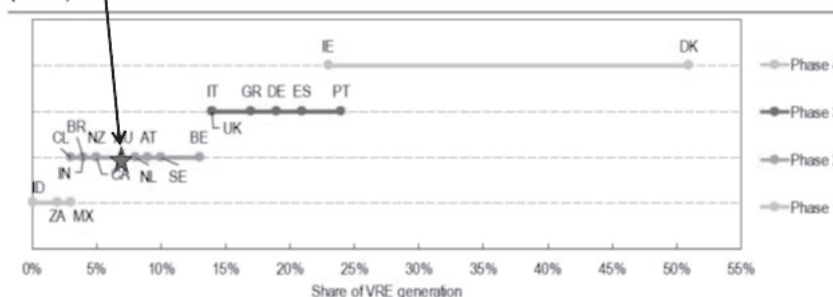


Figure 1 • Annual VRE generation shares in selected countries and correspondence to different VRE phases, 2015



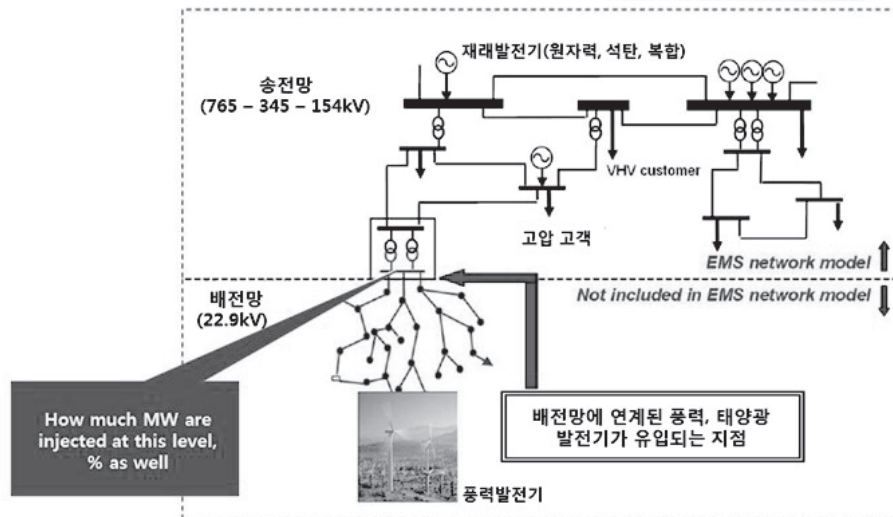
14

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - Visibility 이슈



◆ 전통적인 계통운영 범위 (154kV 이상) ↔ 소규모 Re 증가 (70kV/22.9kV 이하)

- (설비 현황) 전력시장 미참여 RE (한전 PPA, 자가용, rooftop PV 등) 관리체계 미비 → static data
- (감시 제어) 대부분 RE는 출력 감시 및 제어에 관한 요건을 법적 면제 → real-time data
- (해석 모델) 소규모/대량의 RE에 대한 계통해석(제어특성) 모델방안 미비 → dynamic data



15

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - Visibility 대응현황



◆ 고시(전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준) 개정(안을 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 종료하였으며, 조만간 공고 예상

◆ 규칙(전력시장운영규칙) 개정(안을 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

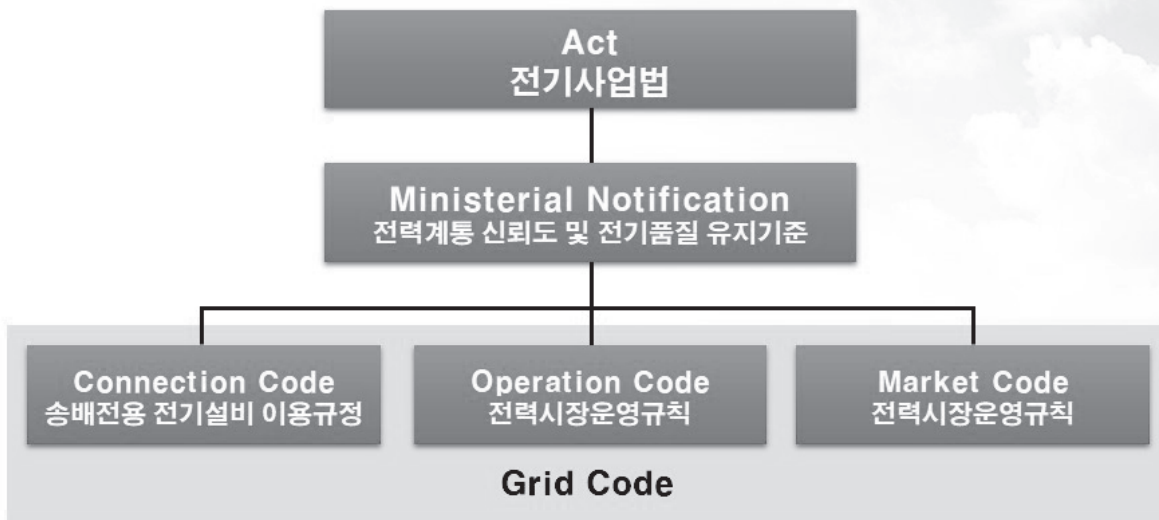
☞ 규칙 개정(안)에 대한 의견수렴 등을 종료하였으며, 고시 공고 직후 개정 착수 (금년 내)

16

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - Visibility 대응현황



◆ 참고자료 - 국내 전력계통 기술기준 법적 체계



17

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - Visibility 대응현황



규칙 개정(안) - Static data

풍력발전기 특성자료

항목	단위	DATA	비고
사업자명	Text		1MW 초과시 작성
발전기명	Text		
발전기 위치(주소)	Text		
발전기 내 설비 배치도 및 단선도	Diagram/Text		
발전기 운전시점	Date		
계통연계로선	Text		
연계로선전압	kV		
연계선로 유형(송전선로/배전선로)	유형 선택		
계약전력	kW		
정격용량	kW		
터빈 개수	개		1MW 초과시 작성
ESS 설치 여부	Yes/No		
유형 구분(육지풍력/해상풍력)	유형 선택		
터빈 로기별 위치, 경도, 해발고도	도(°), m		
터빈 로기별 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		
제조사	Text		
모델명	Text		풍력연계형 ESS를 설치할 경우 작성
제조사에서 제공한 터빈 파워커브 (풍속에 따른 예상 발전량)	Chart/Text		
설비용량	kW		
최대/최소 발전용량	kW		
최대/최소 충전용량	kW		20MW 초과시 작성
PMS 출력제어 특징	Text		
안정도 모의를 위한 제2차 제공 PSS/E 모델 Data Sheet	Text		20MW 초과시 작성
기상자료취득장치 위도, 경도 및 센서 높이 (풍향계속타워 또는 원격감지계측기)	도(°), m		

태양광발전기 특성자료

항목	단위	DATA	비고
사업자명	Text		90kW 초과시 작성
발전기명	Text		
발전기 위치(주소)	Text		
발전기 내 설비 배치도 및 단선도	Diagram/Text		
발전기 운전시점	Date		
계통연계로선	Text		
연계로선전압	kV		
연계선로 유형(송전선로/배전선로)	유형 선택		
계약전력	kW		
정격용량	kW		
패널(모듈) 개수	개		태양광 연계형 ESS를 설치할 경우 작성
인버터 개수	개		
ESS 설치 여부	Yes/No		
정격용량	kW		
제조사	Text		
모델명	Text		
온도계수	°C		
변환효율	%		
정격용량	kW		
제조사	Text		
모델명	Text		태양광 연계형 ESS를 설치할 경우 작성
어레이 형식 (추적식(단축/ 양축) 고정식/고정가동식)	유형 선택		
냉각장치 설치 여부	Yes/No		
경사각	도(°)		
방위각	도(°)		1MW 초과시 작성
설비용량	kW		
최대/최소 발전용량	kW		20MW 초과시 작성
최대/최소 충전용량	kW		
PMS 출력제어 특징	Text		20MW 초과시 작성
기상자료취득장치 위도, 경도 (일사량계 및 외기온도계)	도(°)		
안정도 모의를 위한 제2차 제공 PSS/E 모델 Data Sheet	Text		

18

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - Visibility 대응현황



규칙 개정(안) - Real-time data

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

규칙 개정(안) - 제어 기준

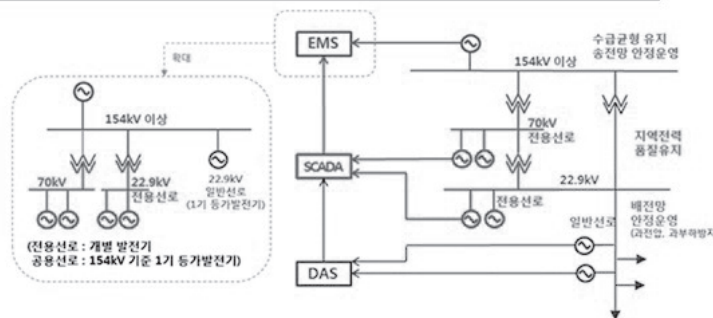
설비용량	제어장치	통신구분	제어주기	제어지시	구분
20MW 초과	원격소장치 (RTU)	전용망	필요시	목표출력 지시 (set-point)	원격제어
1MW 초과 20MW 이하	자료연계용단말장치 수준 이상	공용망 또는 전용망	필요시	출력상한 지시 (curtailment)	원격제어
90kW초과 1MW 이하	자료연계용단말장치 수준	공용망	필요시	출력차단 지시	원격제어 * 검토중

19

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - Visibility 대응현황



규칙 개정(안) - 협조체계 및 급전범위



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



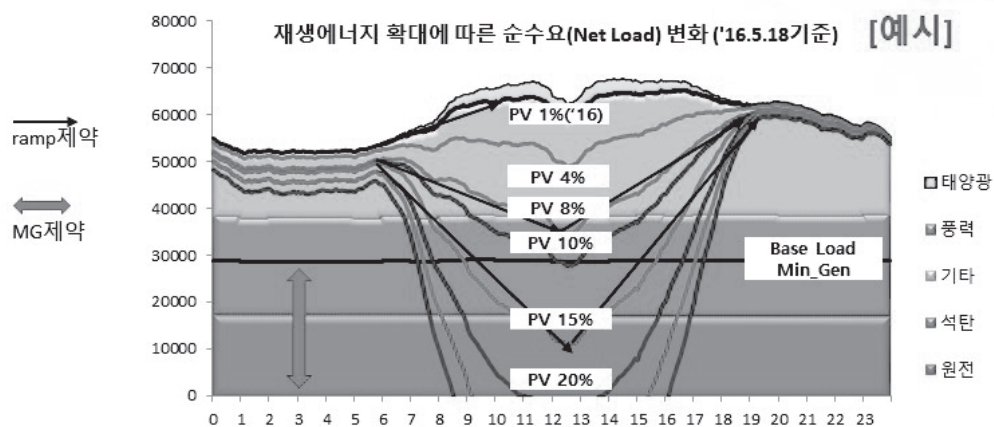
20

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - Flexibility 이슈



◆ Net-load (=총수요-RE)에 대한 실시간 수급균형 확보의 문제

- 국내의 경우 태양광이 RE 정책목표의 상당한 비중을 차지할 수밖에 없고,
- 태양광은 주간시간에만 발전하게 되므로 Net-load의 duck curve 문제를 초래하는 반면,
- 국내의 경우 원전, 석탄 등 경직성 전원의 비중이 높고, LNG도 복합모드(CC)로 운영되며,
- 출력유연성(ramping, min_gen 등)에 대한 전력시장의 경제적 유인도 취약한 상황



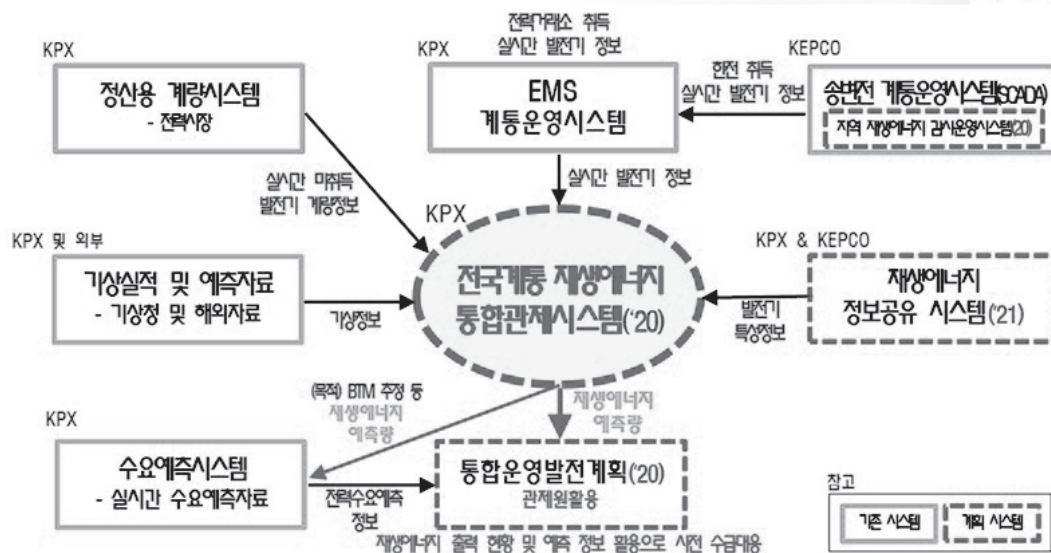
21

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - Flexibility 대응현황



◆ VRE(풍력, 태양광) 예측시스템 구축 (1)

- 제주계통 시범사업 ('18.6 준공) → 전국계통 구축사업 (조만간 사업발주, '20.12 준공)
- 다단계 발전계획시스템과 연계되도록 주간→하루전→당일→실시간 RE 예측



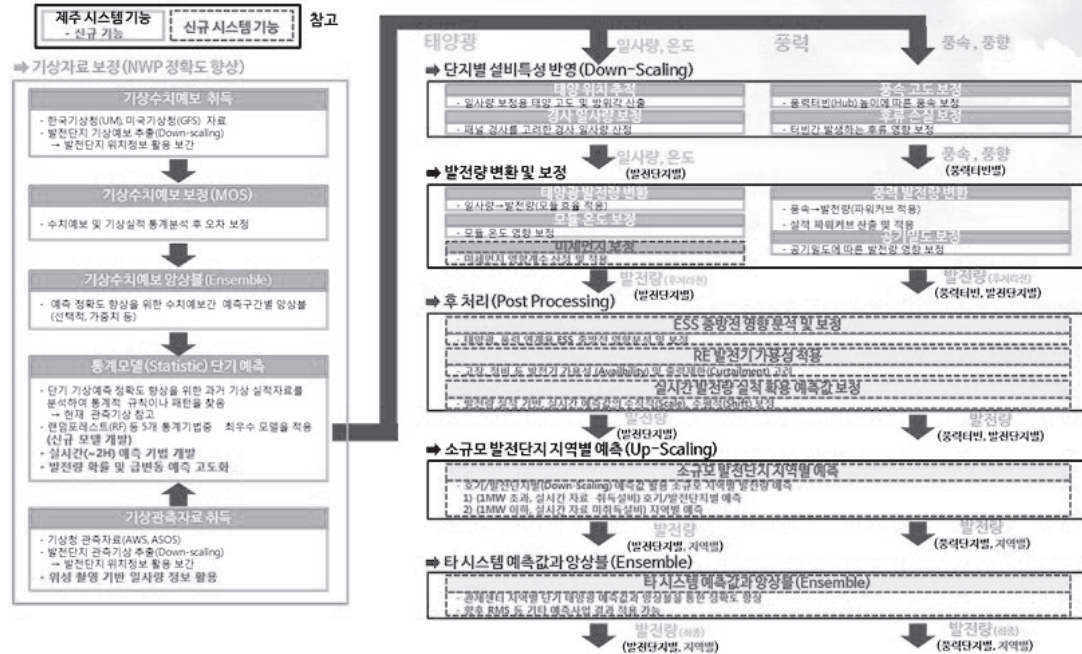
22

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - Flexibility 대응현황



◆ VRE(풍력, 태양광) 예측시스템 구축 (2)

- 수치기상예보(NWP)에 의한 물리모델을 근간으로 통계모델을 결합



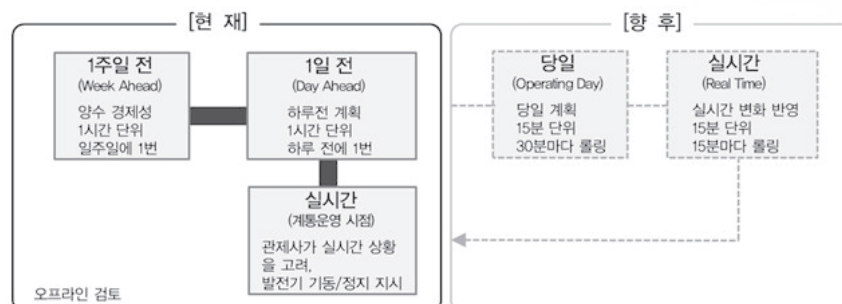
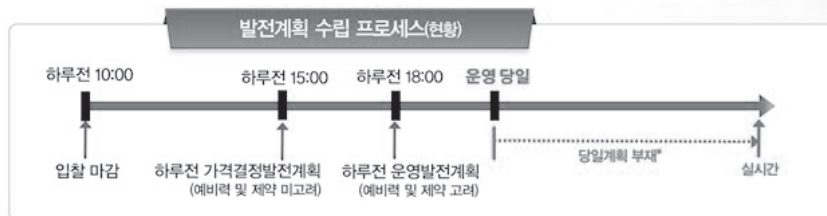
23

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - Flexibility 대응현황



◆ 온라인 다단계 발전계획시스템 구축 (1)

- 재생에너지 불확실성 등을 감안한 다단계 발전계획 (on-line multi-stage unit commitment)
 - * (현행) off-line, 하루전UC+실시간ED → (향후) on-line, 주간UC+하루전UC+당일UC+실시간UC+실시간ED
- 다단계 RE예측시스템 + 다단계 발전계획시스템 → 안정적이고 효율적인 계통운영



24

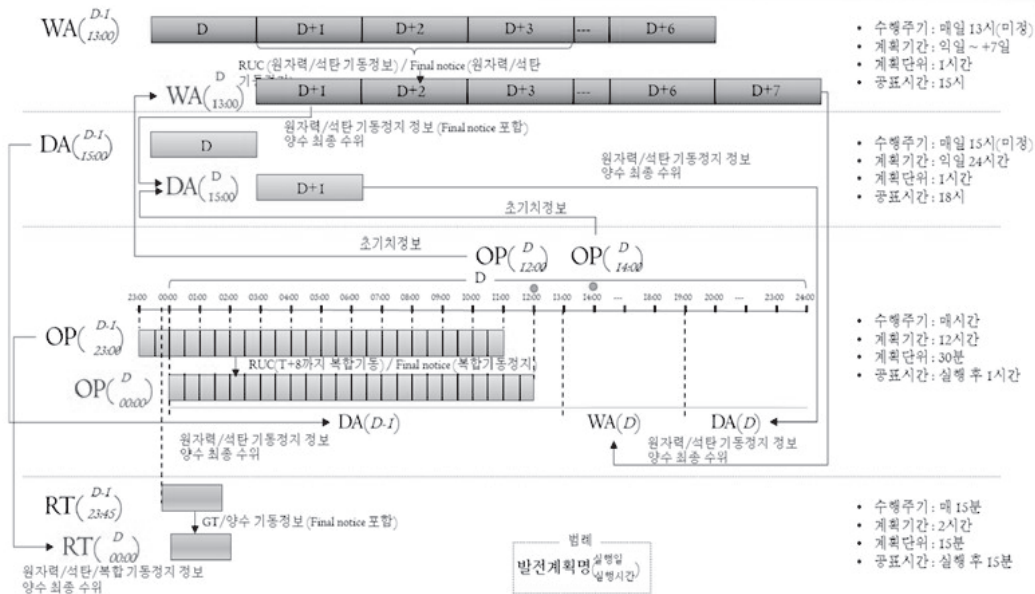
2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - Flexibility 대응현황



◆ 온라인 다단계 발전계획시스템 구축

➤ 재생에너지 불확실성 등을 감안한 다단계 발전계획 (on-line multi-stage unit commitment)

* (현행) off-line, 하루전UC+실시간ED → (향후) on-line, 주간UC+하루전UC+당일UC+실시간UC+실시간ED



25

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - Stability 이슈



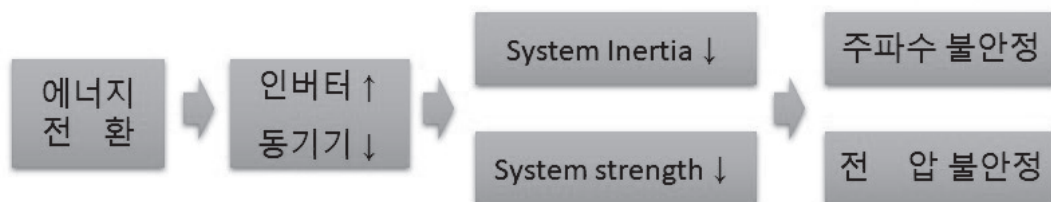
◆ 에너지 전환에도 불구하고 AC 계통은 유지될 전망

✓ 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



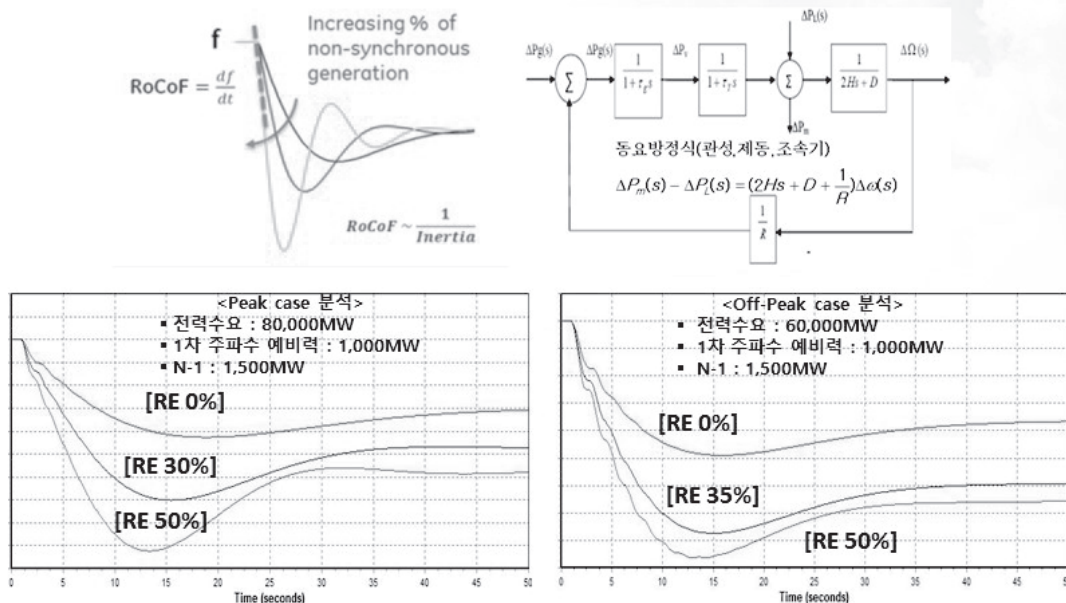
26

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - Stability 이슈



◆ 회전관성의 부족에 따른 문제점

- 재생에너지가 동기기를 대체함에 따라 ① 회전관성의 부족으로 주파수 하락속도(RoCoF)가 크게 증가하고 ② 주파수 응답자원(GF)의 부족을 초래하여 ③ 최저주파수가 크게 하락



27

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - Stability 이슈



◆ 무효전력 공급능력 부족에 따른 문제점

- 재생에너지가 동기기를 대체함에 따라 ① 사고 후 무효전력 공급능력 부족으로 전압강하가 확대되고 ② 송전능력 저하에 따른 과도불안정을 유발하며 (voltage dip induced transient instability) ③ ride through가 미비한 재생에너지의 연쇄 탈락으로 주파수 불안정 (voltage dip induced frequency dip)

※ 송전선 인출사고 등 사고 직후 순시 무효전력 공급(dynamic reactive reserve) 등 전압유지도 동기발전기가 핵심 역할을 수행

출처 : 스페인 REE



28

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - Stability 대응방향

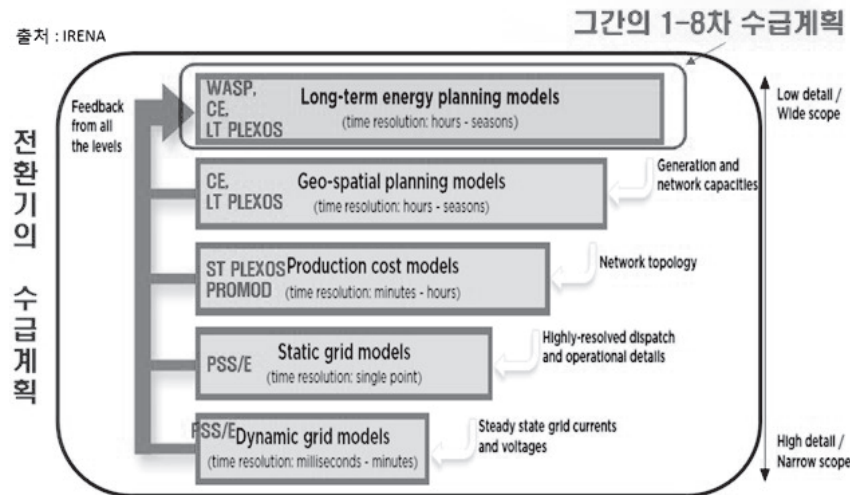


◆ 인버터 기반의 재생에너지에 대한 계통연계기준 개정(안) 마련

- 한전은 인버터 기반의 RE 대한 계통연계기준 강화를 위한 connection code인 송배전용 전기 설비 이용규정 개정(안)을 마련 → 유효전력 및 주파수 제어, 무효전력 및 전압제어, Ride through 등

◆ 제9차 전력수급계획의 재생에너지 입지전망 및 발송전 통합검토

- 입지 불확실성 상존, 수립기간 제약 등 한계가 있으나, 전환점으로서의 의의가 매우 큼



29

2. RE에 따른 현안 및 대응방향 - 거래소의 향후 계획

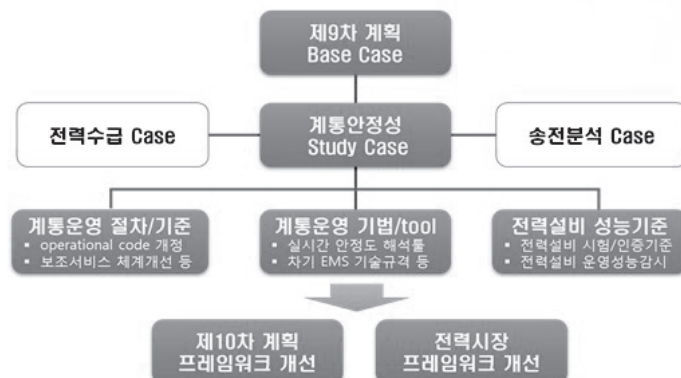


◆ 에너지 전환을 위한 대응노력은 지속적 과제

- (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,
- 중장기 전력계통 운영전망 및 계통운영 안정화 추진과제(로드맵) 마련 ('20~'21)



30



재생에너지를 더 빨리,
더 많이 수용하는 방법,
유럽의 경험에서 배운다

-계통 연계 개선과 계통망 관리 이슈를 중심으로

패널토론

좌 장 : 전영환 홍익대학교

토론자 : 정규창 한화큐셀

허 진 상명대학교

하정일 법무법인 태림



토론 1

정규창 한화큐셀



[한 EU 계통 수용성 워크숍 토론문]

한화큐셀 정규창 파트장

□ 현재 계통 수용성은 태양광 등 재생에너지 보급량 및 속도와 밀접한 관계가 있는 주요 Factor로 전력망 신뢰도 강화 측면에서 전력 당국의 사전 대비 필요성은 업계로서 공감

- 현재 제8차 전력수급계획에 포함된 재생에너지 관제시스템 구축계획은 이러한 계통 수용성 및 안정성을 확보하려는 노력의 일환으로서 스마트 전력망 구축은 재생에너지 보급 확대를 위한 선결사항임

□ 이는 재생에너지 비율이 높아질수록 반드시 해결해야 하는 과제로서 특히 독일, 미국 샌프란시스코 등 재생에너지비율이 높은 국가, 지역 등은 실제 계통 운영상 애로사항을 겪고 있음

- 미국 샌프란시스코 지역은 이미 Duck Curve 현상으로 태양광 전력의 가치 저하(Deflation)을 경험하고 있고 기저 및 유연성 있는 자원의 가동 등으로 인한 제약 비용 지출 中
- 독일, 덴마크는 태양광, 풍력의 비중이 전체 에너지원에서 차지하는 비율이 큰 편으로 상시 예비력 전원 대응을 하고 있으며 잉여전력에 대해서 타 국가에 보낼 수 있는 전력망이 연계되어 있어 수용성이 높은 편임
- 특히 한국은 유럽과는 달리 국가간 그리드가 연결되어 있지 않아 잉여전력에 대한 송전도 자유롭지 않은 상황임

□ 업계에서는 현재 전력당국이 고민 중인 계통 이슈 관련 1) 계통연계 용량 부족으로 인한 프로젝트 불확실성, 2) 계통 제약으로 인한 출력 제한에 관심이 많음

- 계통연계용량 확보를 위한 배전선로 확충, 변압기 및 변전소 설치로 인한 프로젝트 착수 시기에 대한 불확실성이 증대되고 있음. 필요한 자금 상당

이 대출로 이루어지는 발전사업 특성상 투자 실행이 어려운 상황임

- 또한 계통이 확보되어 프로젝트가 실행되더라도 향후 역조류, 주파수 변동, 전압 Hunting, 기타 예비력 확보를 위한 재생에너지 출력 제어 및 차단으로 인한 기대 이익 손실 등 운영 상 리스크 확대 예상

□ 두 문제 모두 재생에너지 수요 확대와 밀접한 관련이 있으므로 사업 불확실성을 해소하는 방향으로 정책 시그널 제시 필요

- 계통연계용량 확보 관련 전력당국에서 계통망 보강 예산 적기 확보 등 연속성을 가지고 추진하되, 계통 연계 용량 현황 및 미래 예측 시스템이 가동되어 프로젝트 시행 시기에 대한 예측 정확도를 높이는 것이 중요
- 현 계획수립 중인 관계 시스템 설치 및 출력제한 등은 사업자 입장에서 투자비 상승, 운영 리스크 등 사업 위험을 사업자가 온전히 부담할 수 밖에 없는 조치임.
- 게다가 기존 설치가 완료된 태양광, 풍력 발전소에 소급효가 인정되지 않고 신규 발전소에만 제한 조치 시행 시 계통 안정성이라는 공공성을 이유로 차별적 출력제한이 이루어지는 등 형평성 논란이 일 수도 있음.

□ 특히 태양광은 대표적 분산형 전원으로 인한 계통 편익을 제공하는 바, 계통 전압에 따른 유연성 있는 제한 조치, 출력 제한으로 인한 보상 및 인센티브 조치를 함께 고려함이 필요

- 고도화된 전력계통 시스템 구축에 대한 발전사업자, 전력거래소, 한전, 전기 소비자 등의 공평한 비용 분담 방법에 대한 공식적 논의가 필요한 시점임
- 태양광 발전은 급전이 불가능한 전원으로 현 시장제도 하에서 전력도매가격(SMP)을 결정하는 가격결정발전계획 상 급전순위에 포함되지 않는 전원이며 전력시장에서 무조건 매입하게 되어 있음. Coff 등과 같은 제약비용에 대한 정산 및 보상체계 마련은 어려울 것으로 생각되나 중국, 유럽 등 해외 사례를 잘 참고하여 최소한의 보상 방안 마련 필요

- 현재는 전기사업법에서 ‘분산형 전원’에 대한 정의로서 ‘전력수요 지역 인근에 설치해 송전선로 건설을 최소화할 수 있는 일정 규모 이하의 발전 설비’로 규정하고 구체적인 그림이나 지원정책은 제시되지 않은 상황임. LNG 발전 등도 전력 소비처인 수도권과 가까울수록 송전손실계수 등 계통 편익에 대한 부분을 정산을 통해 보상받고 있으므로, 분산형 전원에 대한 지역별 인센티브 설계 要
- 배전계통은 전력계통의 말단에 위치한 계통으로서 상위 계통에 비해 계통 용량이 작은 배전계통에서 부하변동이 발생하더라도 공급 지역 전체 주파수 레벨 등에 미치는 영향이 많지 않음을 고려, 출력 제한 대상에서 제외하는 설비 용량 범위를 높이고 출력 제약을 최소화하는 유연성 있는 조치 요구

□ 전력망 구축 및 규제 신설 외 시스템 혁신이 필요한 시점으로 비즈니스 모델 확대를 위한 민관 협력이 절실함

- 계통연계 가능용량이 부족한 지역이 전남, 전북 등 일부 태양광 입지 여건이 좋거나 전력수요처와 공급처가 일치하는 수도권이 아니라는 점은 시스템 혁신을 깊게 고민을 해야 할 단계로 볼 수 있음.
- 도심형 태양광 확대 정책을 통하여 계통 집중을 최소화하고 분산형 전원의 장점을 살리되,
- 대규모 전력망 구축 뿐 아니라 옥상형 태양광 발전, 배터리 등으로 연결된 분산형 전력망 구축 시 대규모 정전 등 사고에도 회복이 손쉽다는 점에서 전력 당국에서 기존 시스템 혁신에 대한 고민도 같이 해줬으면 함.
- 가상발전소, 중개사업자, PV+ESS, 에너지 프로슈머, V2G등 태양광의 특징에 맞는 사업 모델 혁신 및 DR등 부하를 능동적으로 조절할 수 있는 정책 지원도 필요함. 특히 PV+ESS은 낮에 추가로 생산한 전력을 저장하고 밤에 송전함으로써 계통 연계량 예측력에도 큰 도움이 될 수 있기에 지속적인 정책 지원 필요성이 있음
- 기술 혁신을 위한 제조업계 노력도 필요함. 인버터 등에도 충분히 빅데이터 등을 활용한 미터링 기술등이 적용되어, 공급 예측력을 확대하고 송변

전망 data등과 함께 충분히 연계되어 계통안전성에 도움이 될 수 있음

□ 계통 문제로 인한 태양광 가치 하락을 최소화 하되 태양광 확대를 위해서는 전력시장 개편, 예비력 전원의 확보 병행이 필요함

- 발전량 예측, 주파수 보조 서비스를 제공하는 발전소에 합리적인 인센티브를 부여하여 예비력 시장을 개편하고, 더욱이 하루전에 수요 예측을 하고 입찰을 하는 Day Ahead 시장을 좀 더 정확한 수요 예측을 위한 실시간 전력 시장으로 개편 필요
- 전력망을 상호 연결하는 슈퍼 그리드 구축 시 재생에너지비율을 높이면서 전력수요와 공급의 균형을 맞출 수 있다는 점에서 장기적 계획으로 고민하면 좋겠음. 끝.

토론 2

허진 상명대학교



한-EU 재생에너지 정책 워크숍

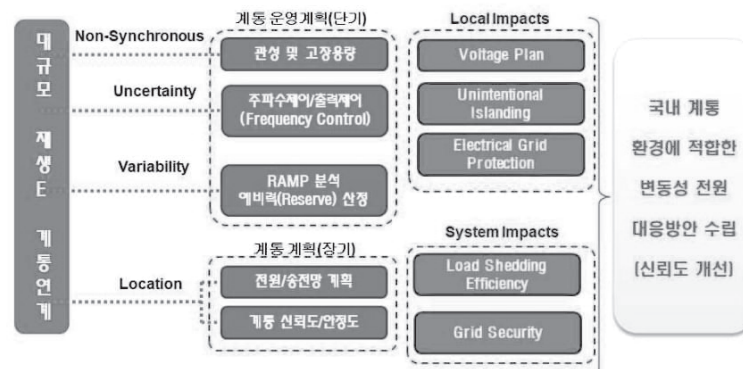
(토론 2: 재생에너지 효율적 연계를 위한 전력계통 신뢰도 개선 방향)

상명대학교 전기공학과 허진 교수

1. 재생에너지 연계 수준 특성 및 신뢰도 개선 필요성

○ 신재생에너지의 전력계통 연계가 확대됨에 따라 **신재생에너지를 포함한 전력계통의 운영/계획 수립**이 요구

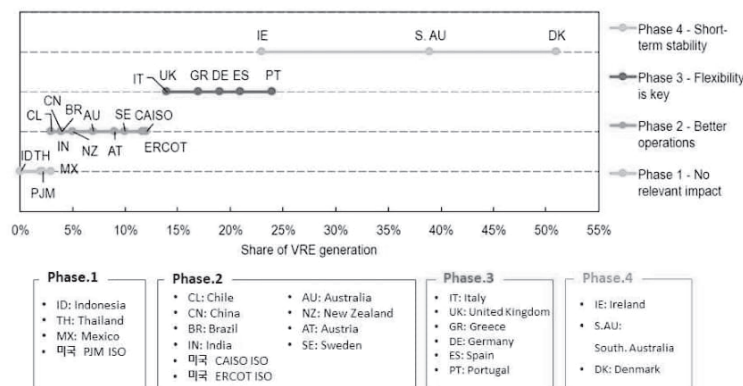
- 재생에너지 확대 적용 계획(3020 Project) 국외현황: 발전 구성의 변화: 신재생에너지의 빠른 증가 추세
 - 2016년 신규 발전기 용량 신재생발전기 용량 164GW (풍력: 52GW/태양광: 73.8GW) 및 석탄/가스발전용량 88GW (전년대비 38GW 감소)
 - 2040년까지 풍력 및 태양광 추가 설비용량 약 5,200GW
- 재생에너지 확대 적용 계획(3020 Project) 국내현황: 신재생에너지 3020 정책 및 제8차 전력수급기본계획 반영
 - 2016년 기준 국내 신재생에너지 발전설비용량 9.3GW (발전량: 4.8%)
 - 2031년 기준 국내 신재생에너지 발전설비용량 58.5GW (발전량: 20% 예상)



<그림. 재생에너지 확대에 따른 계통영향(주요이슈)>

- 신재생에너지의 연간 발전 비중 및 연계 수준에 따른 국가별 신재생 연계 수준 (2015년): 2단계(ERCOT ISO), 3단계(스페인), 4단계(아일랜드) Benchmarking 필요
- 2단계(RE 3~15%): **가시성(Visibility)** 이슈
 - 재생에너지 발전을 고려하여 기존 발전기(Traditional Generator)에 대한 최소 비용 운전계획 수립 및 재생에너지 감시/예측 시스템 구축 필요

- 3단계(RE 15~25%): **유연성(Visibility)** 이슈
 - 전력공급의 불확실성과 변동성이 상당히 높은 특징을 보이며, 이에 따른 재생 에너지 제어 시스템 구축 필요
- 4단계(RE 25~50%): **안정도(Stability)** 이슈
 - 기존 발전기(Traditional Generator) 감소에 따른 안정도(예, 관성문제) 확보를 위한 대체자원을 찾아야 하고 재생에너지는 신뢰도 서비스 제공 필요



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

2. 재생에너지 유연성 확보 및 신뢰도 개선 사례

- 북미지역에서 독립계통(Isolated System)이며 국내 전력계통의 규모가 유사한 텍사스 전력시스템(ERCOT ISO)의 재생에너지 유연성 확보 사례
 - 풍력발전 예측시스템 및 ELRAS 운영
 - 풍력발전예측시스템: 계통시스템 전체 및 개별 풍력자원에 대해 시간단위로 다음 168시간(7일)에 대한 예측을 수행함
 - ELRAS(ERCOT Large Ramp Alert System): 0~180분 전의 풍력발전 ramp-up(down) event 발생가능성에 대한 전력계통 전체 및 지역별 정보를 제공함
 - 예비력 시장 참여
 - 하루전시장(Day-ahead market) 결과를 토대로 추가 용량 확보가 필요할 경우 RUC(Reliability Unit Commitment) 프로세스를 시행함
 - 운영계획(COP) 제출을 통해 RUC에 참여하며 실시간 발전량에 관계없이 발전 가능량을 발전 자원의 이용 가능용량으로 간주함
 - 순부하를 고려한 실시간 풍력발전 운영
 - 순부하(Net Load) 변동성을 고려하여 5분 단위의 급전지시를 수행함
 - 송전혼잡 관리를 위한 발전량 감축을 지시함

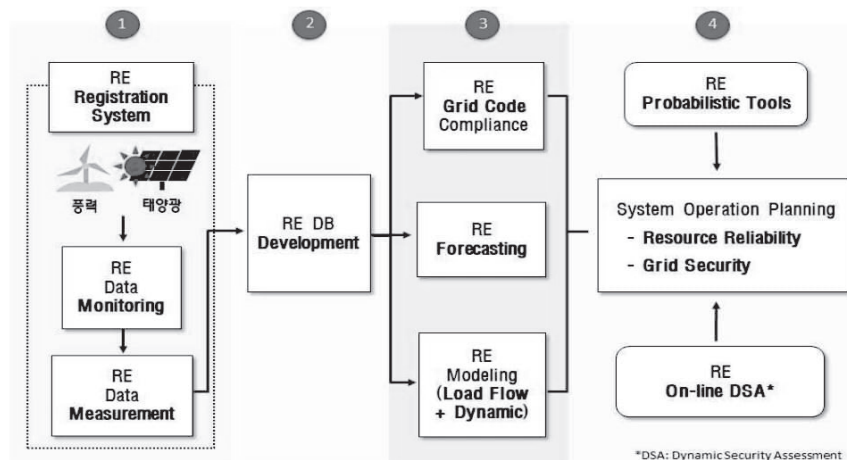
- 순부하 변동량, 풍력부하율, 풍력설비용량, 순부하 예측오차 등을 고려하여 매년 재산정함

구분	스페인	독일	영국	ERCOT	CAISO
실시간 출력제어시스템	0	0	0	0	0
신재생 발전량 예측시스템	0	0	0	0	0
지역별 신재생 제어센터	0	X	X	X	X
신재생 간헐성 고려 예비력 운영체계	0	0	0	0	0
ESS 의무화	X	X	X	X	0
유연성 자원 확보 의무화	X	X	X	X	0
용량시장 개설	X	X	0	X	X
실시간 시장 운영	0	0	0	0	0
간헐성 완충을 위한 DR 활용	0	0	0	0	0

<그림. 해외 재생에너지 출력변동성 대응체계> (출처: KPX Report(2019))

3. 재생에너지 효율적 연계를 위한 전력계통 신뢰도 개선 방향

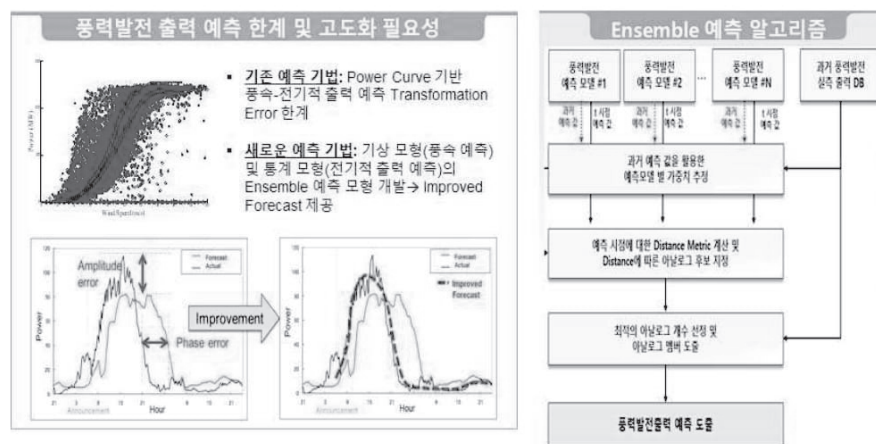
- 재생에너지 수용성 확대 및 전력계통 신뢰도 개선을 위한 과제



<그림. 재생E 확대에 따른 신뢰도 개선 방향>

- RE Registration System(재생에너지 정보공유시스템) 개발: 재생에너지 등록 및 데이터 수집 프로세스(Installation → Submission → Validation) 시스템 구축 (예, 호주 DER Register)
- 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)

- 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))
- 재생에너지 계통연계기준(RE Grid Code Compliance) 개선: 재생에너지 접속규정 및 연계규정 개선 및 강화 → 전력계통 신뢰도 고시(“전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준”) 강화 및 개선(예, NERC 신뢰도 기준: ① Active Power Control Capabilities, ② Reactive Power and Voltage Control, ③ Performance During and After Disturbances, ④ Models for Facility Interconnection Studies, ⑤ Communications Between Variable Generation)
- 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)



<그림. Ensemble 모형 기반 풍력발전 출력예측 모형 개발 방안 >

- 재생에너지 연계 계통안정도(RE Grid Security) 해석 기술 개발: 연계 계통 안정도를 고려한 신재생에너지 수용 한계 용량 및 연계 계통(변전소, 송전선로) 실시간 안정도(과부하, 전압) 분석(예, 아일랜드 EirGrid의 WSAT(Wind Security Assessment Tool))

토론 3

하정립 범무법인 태림



토론문(계통연계 문제 해소를 위한 제도적 기반)

2019. 9. 26.

법무법인 태림

하정림 변호사

1. 분산형전원 확대에 따른 DSO 및 DSP 필요성 증대

□ 최근 환경 이슈, 공간적 제약, 자연재해에 대한 계통복원성, 증가하는 전력수요에 대한 지속가능성 한계 등 고려하여, 기존 전력산업 근본적 개선과 분산형전원에 대한 필요성 증대 → 분산형전원 비용-효율적 연계방안 마련 필요 (특성상 계통연계에 고비용 소요되어, 분산형전원 투자수익성 악화 우려)

- 참고 해외사례: 2014년 뉴욕의 REV (Reforming the Energy Vision) 사업 벤치마킹 고려 → 능동형 배전망 기술 도입 통해 비용-효율적으로 분산형전원 수용능력 증대 고려할 필요¹

□ 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(아래 목차 2. 참조). 변화된 전원형태에 맞추어, DSO 및 DSP 개방 고려하고, 기존 배전사업자가 이러한 기능을 계속 하는 경우에도 적절한 제도적 장치 필요

- 만약 한전에서 배전 자체는 독점하여 DSP 역할을 하더라도, 시장독점 및 불공정한 시장지배력 행사 가능성을 고려할 때(현행법상으로도 실제 규제하고 있지 않을 뿐 이론상 문제점 존재) 다양한 Player들의 참여 보장 및

¹ 김승완/박시원, “재생에너지 확대를 위한 전력산업 규제 패러다임 변화 – 뉴욕 REV 사례를 중심으로”, 환경법연구 40권 2호, 한국환경법학회, 2018년 8월, 181-223면 참조.

위 지배력에 대한 제도적 견제장치 마련 필요 → 현행과 같이 고시 또는 한전 내규에 따라 설비기준을 규정하는 것에 나아가, 입법/행정부 차원에서 공정성과 적법성 담보할 수 있는 제도적 장치 필요

* 최근 신재생에너지 발전허가 권한 관련 한전의 계통연계 정보독점이 문제되어 전기사업법 개정안에서 전기설비 정보공개가 의무화된 사례 참조(2019. 10. 24. 시행 예정 개정 전기사업법 제20조의2)

- 배전망운영자, 송전망운영자, 발전사업자 등 각 주체의 책임범위와 접근 수준을 정의하고, 데이터 보안 및 활용을 위한 근거규정 수립 필요
- 과거와 다른 다수 분산형전원의 특성을 고려하여 배전사업자는 종국적으로는 능동형 배전망운영자로서 진화되어야 할 것임(기존 배전사업자가 진입하는 경우, 시장구조 및 거래에 적합한 형태의 구조변화 검토 필요 있음)

2. 계통연계 관련 법령 현황 및 향후 과제

□ 현행 법령상 신재생에너지 계통연계에 대한 구체적인 규율이 미비함

- 전력계통 관련 현행법상 그 운영방법(전기사업법 제45조; 한국전력거래소로 하여금 전기사업자 및 수요관리사업자에게 전력계통 운영을 위한 지시를 할 수 있도록 하고, 산업통상자원부장관이 송배전사업자에게 산업통상자원부령에 따라 전력계통 운영 업무 중 일부 수행하도록 할 수 있음)을 정한 외에, 신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법(이하 “신재생에너지법”)에 따른 전기의 전력계통 연계조건을 개선하기 위한 사업을 전력산업기반기금으로 추진하고(전기사업법 제48조, 제49조 제1호) 전기위

원회에서 전력계통 신뢰도 관리업무에 대한 제반 사항을 심의하도록(전기사업법 제56조 제1항 제11호) 하고 있음

- 한편 신재생에너지법에 따라 신재생에너지의 전력계통 연계조건을 개선하기 위한 설비로서 산업통상자원부령으로 정하는 것(“신재생에너지 설비”)에 대하여, 인증방법, 보급사업, 하자보수, 기술지원 등 제도촉진 방안을 두고 있음(신재생에너지법 제10조, 제12조, 제12조의7, 제13조, 제13조의2, 제21조, 제25조, 제27조, 제30조의2, 제30조의3, 제31조 등)

□ 그러나 구체적인 계통연계 방안이나, 계통연계 자체의 촉진에 관한 구체적인 규율은 미비한 편임. 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 아니함

- 최근 위 고시 개정(안)에 신재생에너지 발전사업자의 자료제출 근거를 마련하고, 전력거래소 및 송배전사업자가 이를 감시, 예측, 평가 및 제어할 수 있도록 하되 그 세부운영은 전력시장운영규칙 및 송배전용 전기설비 이용규정에 위임한 것으로 보임(*고시 개정 후 전력시장운영규칙 개정 예정)
- 참고로 2019. 4. 23.자로 시행된 전기사업법 일부개정안에 따르면 분산형전원의 정의²를 신설하고(전기사업법 제2조 제21호), 전력수급기본계획에 분

² 전력수요 지역 인근에 설치하여 송전선로(발전소 상호간, 변전소 상호간 및 발전소와 변전소 간

산형전원 확대에 관한 사항을 반드시 포함하도록 하고 있음(전기사업법 제25조 제6항 제5조의2호)

- 현재의 배전사업자인 한전 뿐만 아니라, 추후 민간 업체 등 다양한 시장 참여
자가능성을 종합적으로 고려하여 계통연계 촉진방안 검토 필요
- 국내 뿐만 아니라 해외 사례를 볼 때에도 분산형전원으로의 발전은 피할
수 없는 흐름인 측면 있음. 전력산업 변화에 발맞추어 전력회사, 시민 등
다양한 이해관계자 의견 수렴하여 (1) 전력회사 역할 재정비하고, (2) 이에
맞는 새로운 전력요금체제와 수익모델 고려할 필요 있음

을 연결하는 전선로(통신용으로 전용하는 것은 제외)의 건설을 최소화할 수 있는 일정 규모 이하
의 발전설비로서 산업통상자원부령으로 정하는 것