

양이원영TV 연속정책대담 (제5회)

고유가 위기 대응을 위해 국제 에너지 동향을 분석 및 대응방향 모색

제주도에서의 실시간 전력 거래

2022. 8. 31

국회의원 양이원영, 전력거래소 김진이



제주도 전력설비 현황



['22.6월 기준, MW]



제주도 전력공급

설비용량(MW)

['22.6월 기준]

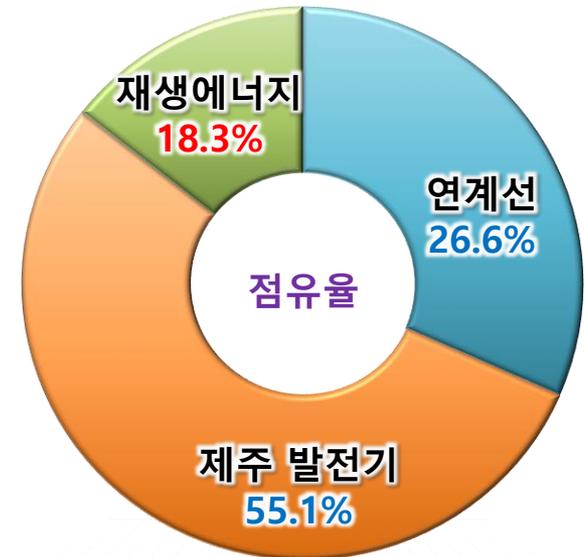
구 분		설비용량	소계	
중앙급전 발전기	남제주기력#1,2	200	910 (42%)	
	제주기력#2,3	150		
	제주내연#1,2	80		
	한림복합	105		
	제주LNG복합#1,2	229		
	남제주복합	146		
비중앙 발전기	재 생 에 너 지	풍 력	295	871 (40%)
		태양광	549	
		기 타	8	
		소 계	829	
	기타(폐기물)	19		
연계선	제1연계선	150	400 (18%)	
	제2연계선	250		
전력설비 합계		2,181		

* 연계선 : HVDC 공급능력 적용

** '22.12월말 기준 : 태양광 549MW(전력시장 332MW, PPA 217MW)

발전량 점유율(%)

['21년 연간 실적 기준]



● 제주 발전기 (중앙급전 53.5% + 폐기물 1.6%)

● 재생에너지 세부 점유율

풍력 8.8%

태양광 9.4%

기타 0.1%

제주도 전력소비

- ▶ 전력소비량은 2015년 대비 28% 증가
- ▶ 상업용 비중 39.1%로 점유율 최대 (전국은 산업용이 54.6%로 점유율 최대)
 - 상업용과 농사용 비중이 65% 수준으로 기상조건이 전력 수요에 미치는 영향이 큼

구 분	판매전력량 (GWh)							'21년 점유율	
	'15	'16	'17	'18	'19	'20	'21	제주	전국
상업용	1,593	1,765	1,913	2,031	2,073	2,057	2,222	39.1%	22.4%
농사용	1,314	1,352	1,391	1,466	1,501	1,445	1,493	26.2%	3.8%
주택용	697	759	811	863	886	955	1,013	17.8%	15.0%
산업용	528	559	593	607	616	644	674	11.9%	54.6%
교육용	117	124	130	134	136	124	134	2.4%	1.6%
기 타	181	179	175	172	164	148	152	2.6%	2.6%
합 계	4,430	4,738	5,014	5,273	5,374	5,373	5,688	100%	100%

[출처 : 한전통계월보]

제주도는 빠르게 에너지전환 중

▶ 재생에너지의 연간 전력공급 비중

2015년

재생에너지 비중
연간 7%

2021년

재생에너지 비중
연간 18.3%

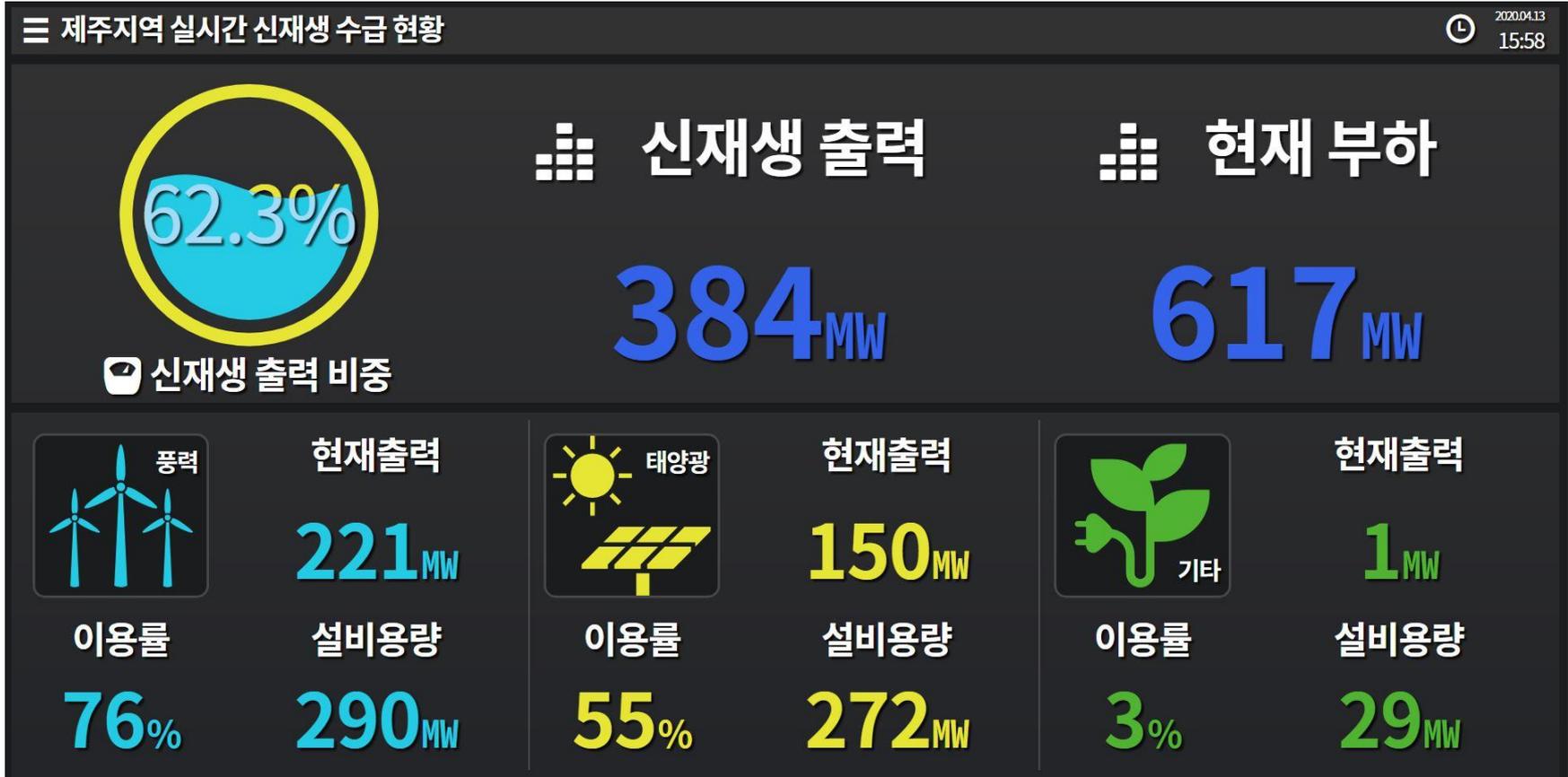
연간 발전량의 18.3%를 재생에너지가 공급

제주도는 화석에너지에서 재생에너지로 빠르게 전환중



재생에너지의 실시간 전력공급 실적

▶ 실시간 재생에너지 발전량 점유율은 62.3% (2020.4.13 15:58)



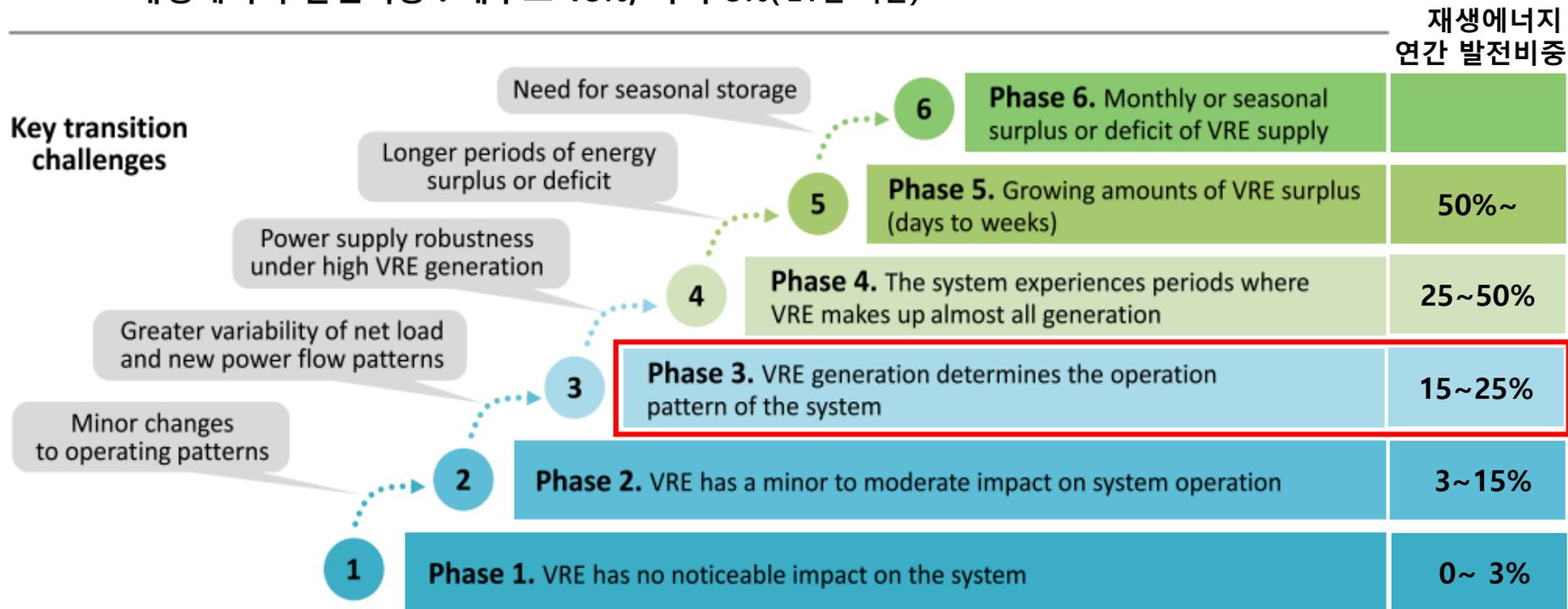
- 부하실적 : 최대부하 1,012MW, 최소부하 378MW, 연평균 670MW('21년 기준)
- 연평균이용률 : 풍력 20.9%, 태양광 12.4%('21년 기준)

재생에너지 보급 단계별 전력계통 영향(1/2)

➤ IEA는 재생에너지의 연간 발전비중을 기준으로 보급 단계를 구분하여

- 단계별 전력계통에 미치는 영향 및 도전과제 제시

- 재생에너지 발전비중 : 제주도 18%, 육지 8%('21년 기준)



Key challenges by phase in moving to higher levels of integrating variable renewables in power systems

재생에너지 보급 단계별 전력계통 영향(2/2)

▶ 제주도는 IEA 기준상 3단계(유연성)에 해당

● 재생에너지 보급 단계별 도전과제

구 분	재생에너지 비중	전력계통 영향	전력계통 도전과제
1단계	0~ 3%	▶ 재생E가 미치는 영향 미미	-
2단계	3~15%	▶ 재생E 변동성 영향 인지	가시성(Visibility) 확보
3단계	15~25%	▶ 유연성에 대한 우선 고려	유연성(Flexibility) 증대
4단계	25~50%	▶ 전력계통 안정도의 중요성 증대	안정성(Stability) 향상

● 재생에너지 증가에 따른 전력계통 주요 문제점

가시성(Visibility)	유연성(Flexibility)	안정성(Stability)
■ 재생에너지 단기기 용량 小 발전기 대수 大 ▶ 가시성 확보 필요 (모니터링 사각지대 증가)	■ 기상조건에 따라 재생에너지 출력 변동, 불확실성 증가 ▶ 변동성, 저장성 대응 백업자원 확보 필요	■ 재생에너지 관성 "0" ▶ 주파수 불안정(관성 저하) ■ 재생에너지 전압조정 부족 ▶ 전압 불안정(강건성 저하)

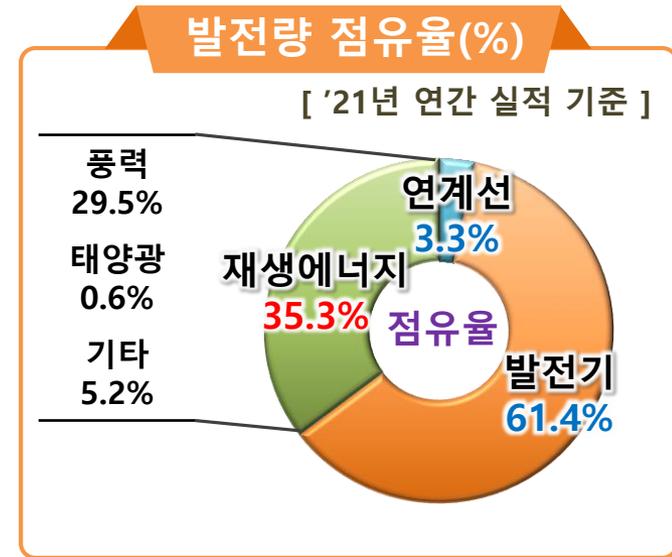
해외사례 - 아일랜드의 재생에너지 대응

▶ 아일랜드는 재생에너지 보급 4단계(안정성)에 해당

- 연간 발전량의 35.3%를 재생에너지가 공급

▶ 아일랜드의 재생에너지 대응

- 연계선로 보강
 - 현재는 영국과의 2개 연계선로로만 구성되어 있으나, 출력제한* 저감을 위해 연계선(Greenlink, '23) 신설 예정
 - * '19년 기준 재생에너지 출력제한 비율 : 6.63%
- 계통연계 기준 강화
 - 풍력 RoCoF * 기준 상향 : 0.5→1Hz/s
 - * RoCoF(주파수변화율, Rate of Change of Frequency) : 단위시간당 주파수 변화폭
 - * 계통 관성이 작아질수록 주파수 변화폭이 커짐
 - 계통관성을 높이기 위한 Synthetic Inertia 연구 중
- 도매 전력시장 운영 현황
 - 하루전시장(유럽연합 역내 통합 시장, PX) 운영
 - 밸런싱시장(아일랜드내 Eirgrid) 운영



에너지 공급 위기 대응책 – 재생에너지 확대

▶ EU의 러시아산 가스 의존도를 줄이기 위한 IEA 권고사항

● Action 4

풍력 및 태양광 사업 가속화

● Action 5

바이오에너지, 원자력 등 기존의 저공해 자원 최대한 활용

● Action 6

전기소비자를 전기요금의 상승으로 부터 보호하기 위한 단기 처방 준비

▶ 재생에너지 확대를 위해서 무엇보다도 시급한 사항은 계통 및 시장의 혁신!

● 유연하면서도 튼튼한 전력계통 구축

● 새로운 시대에 걸맞은 전력 거래 제도 도입

A 10-Point Plan to Reduce the European Union's Reliance on Russian Natural Gas

Measures implemented this year could bring down gas imports from Russia by over one-third, with additional temporary options to deepen these cuts to well over half while still lowering emissions.

Action 1



No new gas supply contracts with Russia

Impact: Taking advantage of expiring long-term contracts with Russia will reduce the contractual minimum take-or-pay levels for Russian imports and enable greater diversity of supply.

Action 2



Replace Russian supplies with gas from alternative sources

Impact: Around 30 bcm in additional gas supply from non-Russian sources.

Action 3



Introduce minimum gas storage obligations to enhance market resilience

Impact: Enhances the resilience of the gas system, although higher injection requirements to refill storage in 2022 will add to gas demand and prop up gas prices.

Action 4



Accelerate the deployment of new wind and solar projects

Impact: An additional 35 TWh of generation from new renewable projects over the next year, over and above the already anticipated growth from these sources, bringing down gas use by 6 bcm.

Action 5



Maximise generation from existing dispatchable low-emissions sources: bioenergy and nuclear

Impact: An additional 70 TWh of power generation from existing dispatchable low emissions sources, reducing gas use for electricity by 13 bcm.

Action 6



Enact short-term measures to shelter vulnerable electricity consumers from high prices

Impact: Brings down energy bills for consumers even when natural gas prices remain high, making available up to EUR 200 billion to cushion impacts on vulnerable groups.

Action 7



Speed up the replacement of gas boilers with heat pumps

Impact: Reduces gas use for heating by an additional 2 bcm in one year.

Action 8



Accelerate energy efficiency improvements in buildings and industry

Impact: Reduces gas consumption for heat by close to an additional 2 bcm within a year, lowering energy bills, enhancing comfort and boosting industrial competitiveness.

Action 9



Encourage a temporary thermostat adjustment by consumers

Impact: Turning down the thermostat for buildings' heating by 1°C would reduce gas demand by some 10 bcm a year.

Action 10



Step up efforts to diversify and decarbonise sources of power system flexibility

Impact: A major near-term push on innovation can, over time, loosen the strong links between natural gas supply and Europe's electricity security. Real-time electricity price signals can unlock more flexible demand, in turn reducing expensive and gas-intensive peak supply needs.

[IEA, '22.3.2]

전력시장 패러다임 변화

- 전력시장 내에서 재생에너지가 화석에너지 발전을 대체할 수 있도록 혁신
 - 분산형 재생에너지는 VPP화하여 도매 전력시장에 참여토록 허용하여 주력전원화 유도
 - 전력시장은 재생에너지의 변동성, 불확실성을 감안하여 실시간(밸런싱)시장 신설
 - 실시간에 근접한 시장 : 북미는 실시간시장(Real-time Market), 유럽은 밸런싱시장(Balancing Market)으로 명칭

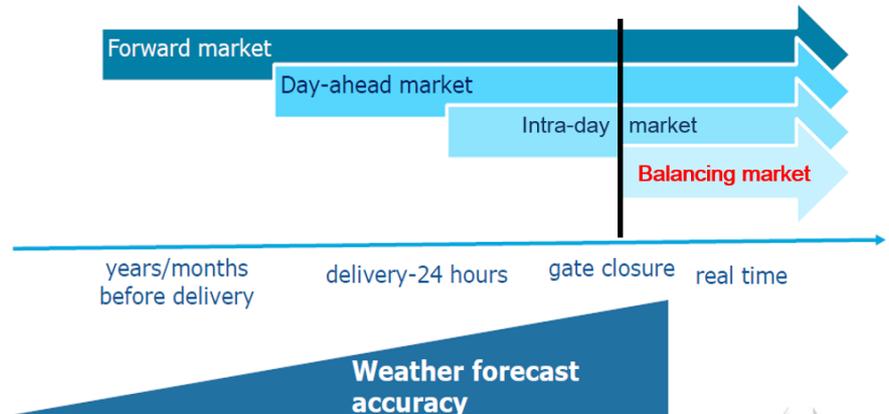
Making renewables fit for the market...

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



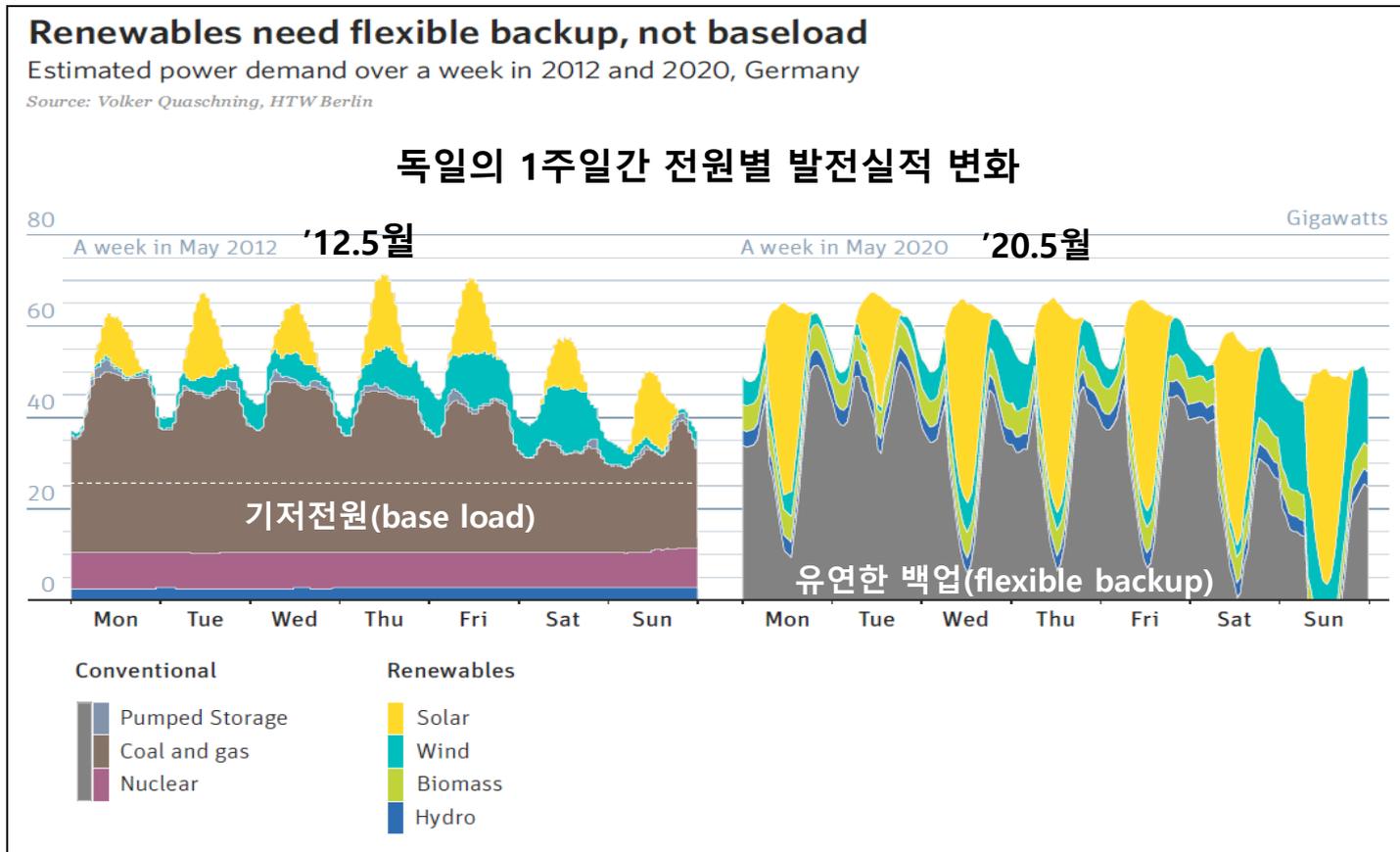
.. and making the market fit for renewables

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



전력시장 패러다임 변화

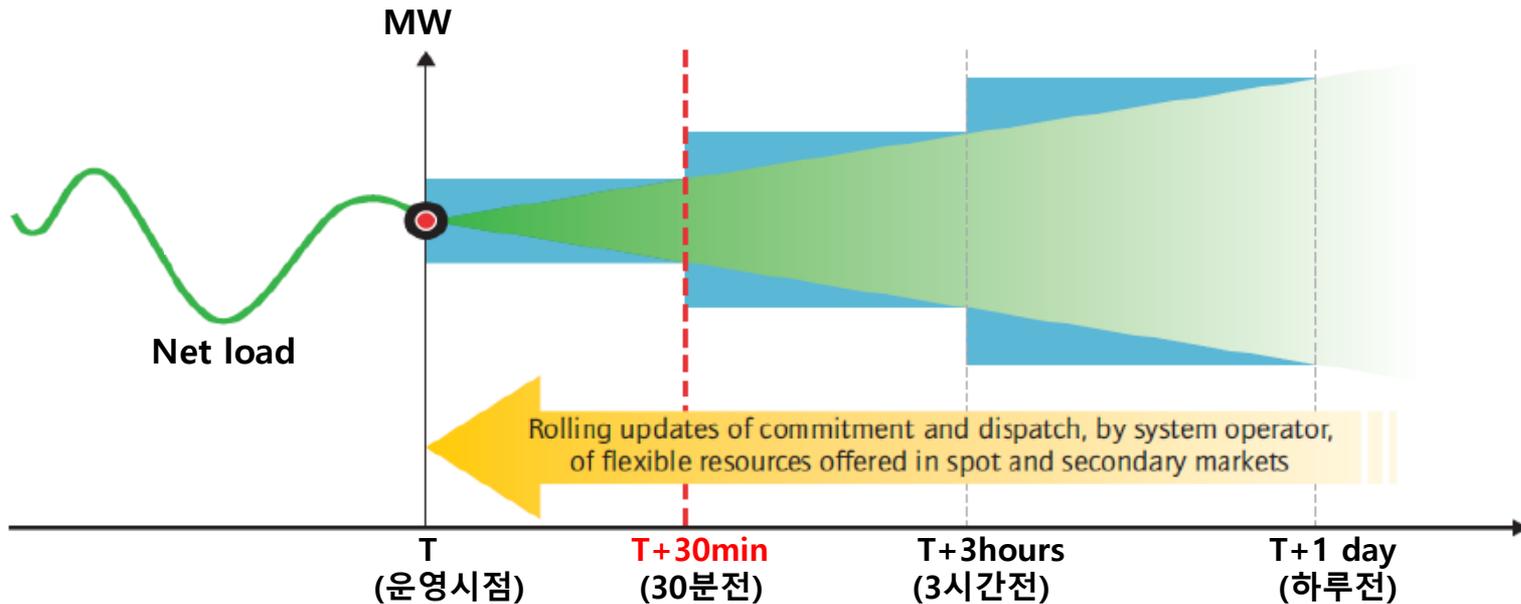
- ▶ 재생에너지가 확대되면 기저전원이 아니라 유연한 백업자원 필요
 - (전력계통) 간헐적인 재생에너지를 백업하는 유연성 자원 확보 필요
 - (전력시장) 백업자원의 적정 가치를 보상할 수 있도록 전력거래 제도 개선 필요



[energytransition.de]

전력시장 패러다임 변화

- ▶ 재생에너지의 불확실성을 줄이기 위해서는 실시간에 인접한 예측 반영 필요
 - 하루전시장만 운영시 재생에너지 불확실성에 따른 유연성자원 소요량 증가
 - 연속적인 예측 업데이트로 재생에너지 예측 정확도 제고 및 유연성 소요량 축소 필요



T : 실시간 운영시점(전기의 생산과 소비가 동시에 일어나는 시점)

■ Net load의 불확실성(MW)

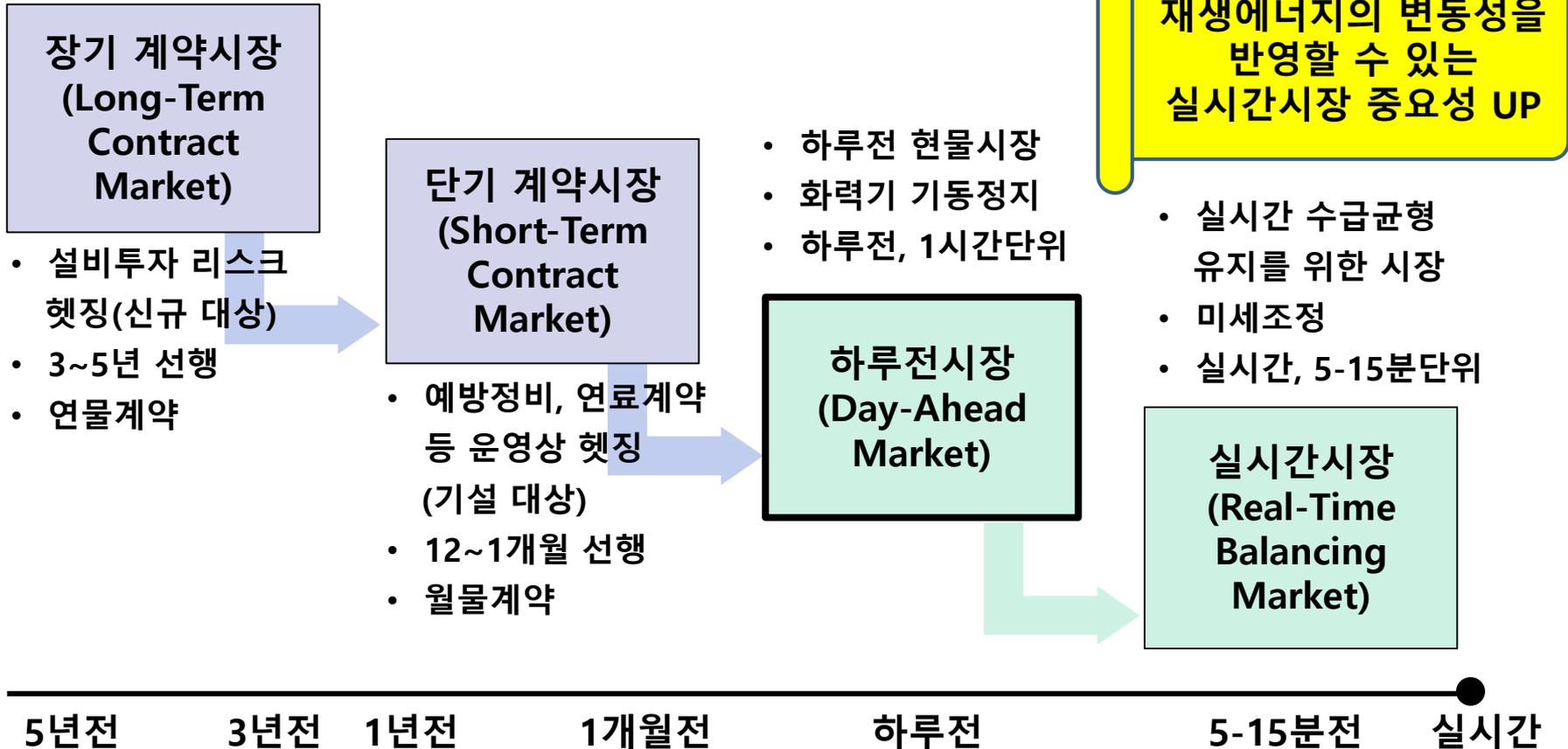
■ 불확실성에 대응하여 유연성 자원을 확보해야 하는 범위(MW)

● 실시간 운전시점(T)의 Net load

해외 전력시장의 기본 구조

▶ 전력시장은 일반적으로 선도시장과 현물시장으로 구성

- 국내는 하루전시장만 운영중



현재는 하루전시장만 존재

▶ 하루전시장(Day-ahead Market)

- 전력거래소는 하루 전에 다음날 전력수요를 1시간 단위로 예측
- 발전회사는 하루 전에 보유한 발전기의 공급 가능한 용량을 입찰
- 이를 바탕으로 시간대별 전력수요에 맞게 발전계획을 수립하고 하루 전 시장가격을 결정
- 거래 당일에는 별도의 계획조정 과정이 없이 계통운영 프로세스에 따라 운영

▶ 하루전시장(Day-ahead Market)의 한계

- 현재 운영되는 '하루전시장'에서는 수시로 변동하는 재생에너지의 출력 변동성을 전력시장가격에 정확하게 반영하기 어려움
 - 최신 기상정보에 기반한 재생에너지 발전량 예측정보 업데이트 필요
 - 1시간 단위 계획 수립으로는 분단위로 변화를 반영하기 어려우므로 분단위로 세분화 필요
- 그래서 해외 전력시장처럼 재생에너지의 출력변동성을 반영하여 실시간으로 변하는 수요와 공급을 정확히 반영할 수 있는 '실시간(Balancing) 시장' 신설 필요

실시간 전력 거래 시장

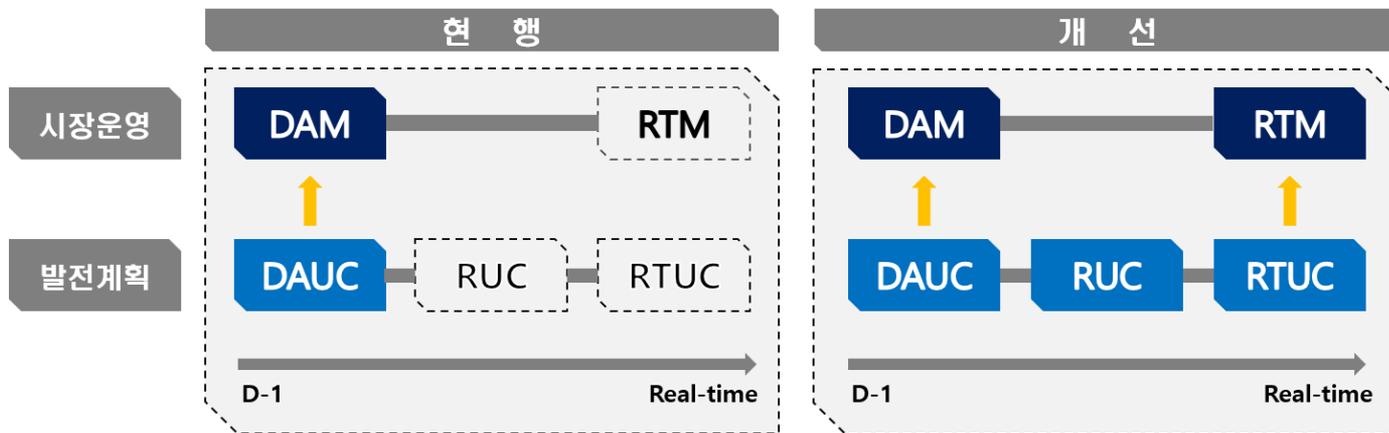
실시간시장

- ▶ **필요성** 재생E 불확실성 및 예측오차 증가에 따라 최종 급전지시가 이루어지는 실시간에 인접한 시장 신설 필요
- ▶ **추진방향** 재생E 변동성 등 실시간 수급여건이 시장가격에 반영되도록 시장 설계
 - ▶ (기본개념) 하루전 시장 이후 실시간에 인접한 시점에서 변동된 수급여건 및 계통상황을 반영하여 거래(시장가격 및 발전계획량)가 이루어지는 전력시장
 - ▶ (시장가격) 1시간 단위에서 15분 단위로 가격단위 세분화
 - ▶ (정산제도) 하루전시장과 실시간시장 간 이중정산 적용
- ▶ **기대효과** 실시간 수급상황을 반영한 정확한 전력 가치 보상(유연성 자원 수익성 제고)

실시간 전력 거래 시장

➤ 시장 구조

- 현물시장을 1시간단위 '하루전시장'과 15분단위 '실시간시장'으로 구성
- (현재) 하루전시장(1시간단위로 다음날 24시간에 대해 1번 개설)
(변경) 하루전시장 + 실시간시장(15분단위로 15분마다 당일 96회 개설)



- DAM(Day-Ahead Market) : 하루전시장
- RTM(Real-Time Market) : 실시간시장
- DAUC(Day-Ahead Unit Commitment) : 하루전발전계획
- RUC(Reliability Unit Commitment) : 신뢰도발전계획
- RTUC(Real-Time Unit Commitment) : 실시간발전계획

실시간 전력 거래 시장

이중정산(Two-Settlement) 적용

- 하루전시장의 계약량은 하루전가격으로 정산하고 실시간 변동량은 실시간가격으로 정산하여 사업자의 계약이행 유인 강화
- 이중정산 = 하루전계약량X하루전가격 + (발전실적-하루전계약량)X실시간가격

< 이중정산 예시 >

A 발전기가 연료비가 저렴해 하루전시장에 낙찰된 후 발전소 사정으로 50% 발전하지 못한 경우

가정 하루전시장가격 100원/MWh, 실시간시장가격 150원/MWh
A 발전기의 연료비 80원/MWh, 하루전 낙찰된 계약량 100MWh, 발전실적 50MWh

- 이중정산시 A 발전기의 정산금(a) = 2,500원 $100 \times 100 + (50 - 100) \times 150 = 10,000 - 7,500$
- A 발전기가 발전하는데 들어간 비용(b) = 4,000원 $50 \times 80 = 4,000$
- 실시간시장 도입 전/후 A 발전기의 수익 비교
실시간시장 도입 전(현행) = +1,000원 이익 $(50 \times 100) - 4,000 = +1,000$
실시간시장 도입 후(변경) = -1,500원 손해 $(a) - (b) = 2,500 - 4,000 = -1,500$

이중정산의 의미

- 하루전계약량보다 미발전한 경우 : 미발전량을 실시간시장에서 실시간가격으로 사서 계약 이행
- 하루전계약량보다 과발전한 경우 : 과발전량을 실시간시장에서 실시간가격으로 팔아서 계약 이행
- 하루전 비싸서 낙찰되지 않고 실시간에 낙찰된 경우 : 실시간시장에서 실시간가격으로 판매

제주도에서의 실시간 전력 거래(안)

▶ 제주도에서의 실시간 전력 거래(안)

- 실현 가능한 탄소중립 목표 달성을 위해 재생에너지 증가에 따른 실시간 변동성을 반영할 수 있도록 도매 전력시장 구조 개선
 - * 시장구조 : (현행) 하루전시장 → (개선) 하루전시장 + 실시간시장 + 보조서비스(예비력)시장
- 재생에너지 비중이 높아 문제 해결이 시급한 제주도에 先도입한 후 육지로 확대 적용
- 운영 시점 : 2023년말 예정
- 추진방법 : 전력시장운영규칙에 반영하여 추진(시범사업 규정 신설)
- 추진일정
 - 제도 개선 : 제도 설계('22.2분기) – 전력시장운영규칙 개정(~'23.2분기)
 - 시스템 개선 : 시스템 구축(~'23.3분기) – 테스트 운영(3개월)

기대 효과

- ▶ **변동성 재생에너지의 주력전원화를 뒷받침할 효율적 전력 거래 플랫폼 마련**
 - 실시간에 인접한 시장 신설로 재생에너지의 출력 변동성 대응, 소비자의 수요반응 유도 등 실시간 수급변화에 능동적으로 대처할 수 있는 전력거래 체계 마련
 - 특히 시장원리에 의해 실시간 수급균형(밸런싱)이 확보된다는 점에서 매우 중요
- ▶ **유연성 자원의 수익창출 기회 제공**
 - 실시간시장을 통한 수익 창출 기회 제공으로 유연성 자원에 대한 인센티브 강화
- ▶ **전력시장 및 전력계통 운영의 효율성 및 신뢰도 향상**
 - 실시간에 기반한 최적 발전계획 수립으로 유연성 자원 소요량 감축 등 효율성 제고
 - 하루전 이후에도 계획을 연속 조정하는 프로세스 확립으로 계통 신뢰도 향상

[참고] 해외 실시간시장 운영 현황

➤ (북미) 전력시장을 운영하는 지역은 모두 실시간시장 운영 중

- 하루전시장의 계약량 이행 유인 및 실시간 수요에 공급을 맞추기 위한 밸런싱(수급균형) 시장으로 실시간시장 운영

< 하루전시장 및 실시간시장 비교 >

구 분	북 미						한 국(KPX)	
	PJM	MISO	ERCOT	CAISO	SPP	NYISO	현행	개선
하루전시장	DAM	DAM	DAM	DAM	DAM	DAM	DAM	DAM
거래단위	1시간	1시간	1시간	1시간	1시간	1시간	1시간	1시간
실시간시장	RTM	RTM	RTM	RTM	RTM	RTM	X	RTM
거래단위	5분	5분	15분	5분	5분	5분	X	15분
급전단위	5분	5분	5분	5분	5분	5분	5분	5분

