



2022 재생에너지
출력제한 세미나
Renewable Energy Curtailment Seminar 2022



재생에너지 출력제한 세미나
2050 탄소중립 실현을 위한
차기 정부에서의
전력시장 제도 개선방향

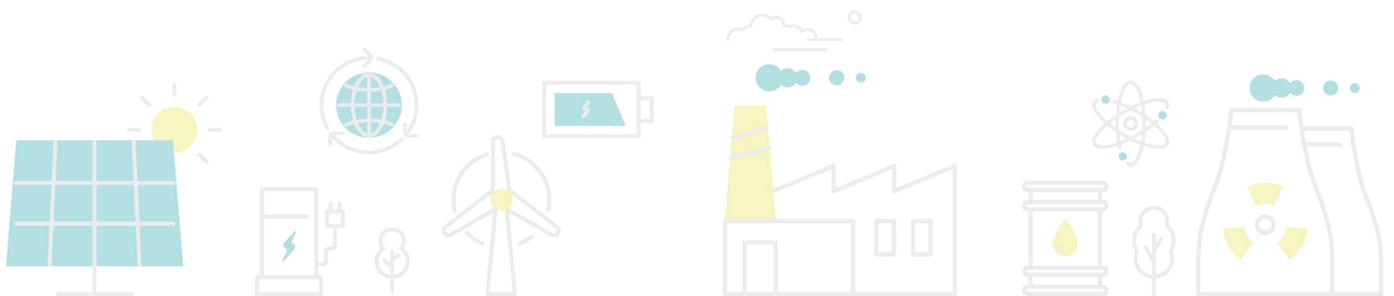
일 시 | 2022년 4월 28일(목), 16:00 ~ 18:30

주 제 | 재생에너지 출력 제한, 어떻게 해결해야 하나?

주 최 | 국회의원 김성환 · 주한 덴마크 대사관 · 사단법인 기후솔루션

<프로그램>

시간	내용
개회사 및 축사	
16:00~16:10	<ul style="list-style-type: none"> •김성환 더불어민주당 국회의원 •토마스 안커크리스텐센 덴마크 기후대사[Online]
발제	
16:10~16:40	<ul style="list-style-type: none"> •발제1: 재생에너지 출력제어 현황과 문제점 발표자: 김영환 제주전력거래소 본부장 •발제2: 덴마크 재생에너지 출력제어 해결사례 : 제도적 접근을 중심으로[Online] 발표자: 비야케크리스티안 네퍼-라스무센 덴마크 에너지 공단 에너지 전문위원 •발제3: 재생에너지 확대를 위한 시장 제도 및 거버넌스 개선 방안[Online] 발표자: 파블로헤비아-코흐 국제에너지기구 에너지분석가
토론 [좌장: 이상복 이투뉴스기자]	
16:40~18:20	<ul style="list-style-type: none"> •정재환 산업통상자원부 전력계통혁신과 과장 •박만근 전력거래소 계통혁신처 운영처장 •이태의 에너지경제연구원 연구위원 •한가희 기후솔루션 연구원 •아나스스테인크리스텐센 덴마크 TSO 에너지넷 계통계획 책임자[Online]
질의 응답	
18:20~18:30	질의 응답 및 마무리





환영사

안녕하세요. 더불어민주당 정책위의장 김성환입니다.

2012년 5월 '2030 탄소 없는 섬, 제주 (Carbon-Free Island, Jeju by 2030 : CFI 2030)' 비전을 발표한 제주는, 이미 탄소중립과 에너지전환 등을 선도적으로 추진한 지자체로 평가받고 있습니다. 신재생에너지 설비 비중은 36%, 발전 비중은 16.2%로 대한민국 전체 재생에너지 발전 비중 4%의 4배로 신재생 에너지 대한민국을 선도합니다.

그러나 이러한 제주는 신재생에너지 발전설비 증가에 따른 전력 공급 초과현상과 그로 인한 '출력 제한' 역시 급속도로 증가하고 있어, 올해까지 누적 200회 이상의 출력 제한을 받고 있습니다. 지난 7년 동안 풍력 출력 제한으로 인한 손실액은 65억 원으로 추정됩니다. 더 큰 고민은 정부가 오는 2040년 재생에너지 비중을 35%로 할 경우 공급 에너지의 13%가 출력 제한이 될 것이고, 손실 규모는 3조 3000억 원에 이르게 됩니다.

이러한 현실 속에서 우리는 오늘 세미나를 통해 2050 탄소중립 실현을 위한 차기 정부에서의 전력 시장 제도 개선방향과 그 의미를 진단해 보고자 합니다. 또한 제주의 풍력발전 출력 제한 대응이 재생에너지 목표 달성에 충분한지 재검토하고, 근본적인 정책적 해결 방안을 모색하고자 합니다.

이런 뜻깊은 세미나를 공동 주최해 주신 주한 덴마크 대사관 '토마스 안커 크리스텐센(Tomas Anker Christensen)' 덴마크 기후대사님과 사단법인 기후솔루션에게 깊은 감사를 드립니다. 아울러 이번 행사를 준비해 주신 모든 관계자 여러분들과, 바쁘신 와중에도 내일 있는 세미나를 위해 한자리에 모여주신 여러 전문가 여러분들께도 감사의 인사를 전합니다.

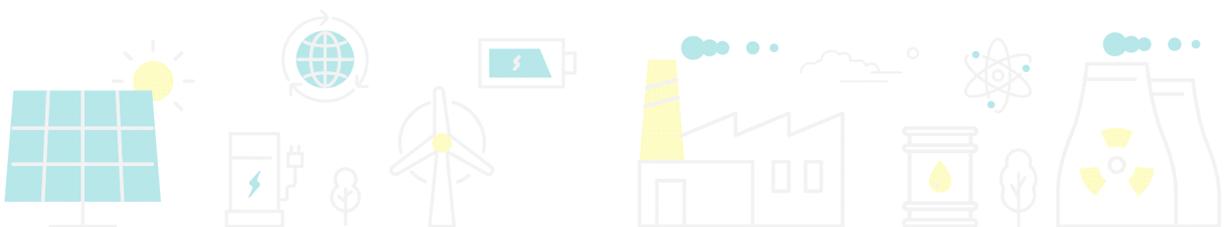
제주 출력 제한은 곧 대한민국 출력 제한 태풍을 예고합니다. 제주에서의 재생에너지 출력 제한의 지속적 증가는 재생에너지를 대폭 확대해야 하는 육지 전력계통에서도 필연적으로 발생하게 될 것이기 때문입니다. 그런 점에서 우리는 어서 머리를 맞대고 재생에너지 출력 제한을 최소화하기 위한 선제적 정책 대응 방안을 다각도로 모색해야 합니다.

이에 저는 지난해 2050 탄소중립 달성의 주요 과제인 '분산에너지 활성화 특별법'을 발의한 바 있습니다. 주요 핵심은 분산에너지 특화지역을 지정하고 특구 내 각종 규제요소의 특례 적용이 가능하도록 규정을 두는 것입니다. 특별법안이 통과되면 제주도가 전국 1호 분산에너지 특구로 지정되어, 다양한 분산에너지 실험을 거쳐 개선사항을 발굴할 수 있을 것으로 기대됩니다. 아직은 법안이 국회 내 계류되어 있는 상태지만, 하루 빨리 국회 본회의를 통과할 수 있도록 더 노력하겠습니다.

탄소중립은 이제 국가의 품격이자 국가 경쟁력의 척도입니다. 이미 탄소중립의 여정을 시작한 우리에게 지금의 위기 극복은 실천적 첫걸음이 될 것입니다. 그런 의미에서 오늘의 자리를 통해 덴마크의 경험과 극복 사례가 공유되고, 전력계통 전문가 및 이해관계자분들과의 의견을 바탕으로 건설적인 대안이 마련되는 논의의 장이 되기를 기원합니다.

감사합니다.

2022년 4월
더불어민주당 정책위의장 **김성환**





Welcoming remarks

Dear All,

My name is Tomas Anker and I am the Danish Climate Ambassador. It is a pleasure being able to connect online with you all at this important seminar. I would have preferred being in Korea, but I am looking forward to visiting your lovely country later this year.

I will like to start by expressing my gratitude to Mr. Kim Sung-hwan and Solutions for Our Climate for, in cooperation with the Danish Embassy, arranging this seminar. When talking about the needed changes in our energy supply in order for us to meet our net-zero emission targets, the need to phase out coal and other emission heavy forms of energy is very known. However, what is not as discussed is the just as important need to integrate new forms of energy into the energy mix.

The case of Jeju-do, that this seminar will focus on, is a good example of some of the curtailment issues that Denmark previously has had and are also a good offset for a discussion of the general conditions needed for securing the integration of renewable energy in the energy mix.

I am pleased that we have the Danish Energy Agency and EnergiNet joining us from Denmark today, in order to share the lessons learned from Denmark and helping with applying the best practice from Denmark in Korea. Denmark has showed a possible way of getting rid of curtailment issues by establishing an institutional framework able to minimize the issues related to it. I am sure that my Danish colleagues from EnergiNet will elaborate on this later in the seminar.

I am also pleased that the International Energy Agency is taking part in this seminar. The work being done internationally by IEA for securing a sustainable energy mix is indispensable for the global fight on climate change. At the latest ministerial meeting in IEA, Denmark together with a series of other countries decided to further strengthen the capabilities of the IEA and its Clean Energy Transitions Programme. The work being done in relation to the programme is an important factor for knowledge-sharing of cost-effective solutions to the global need for more sustainable energy.

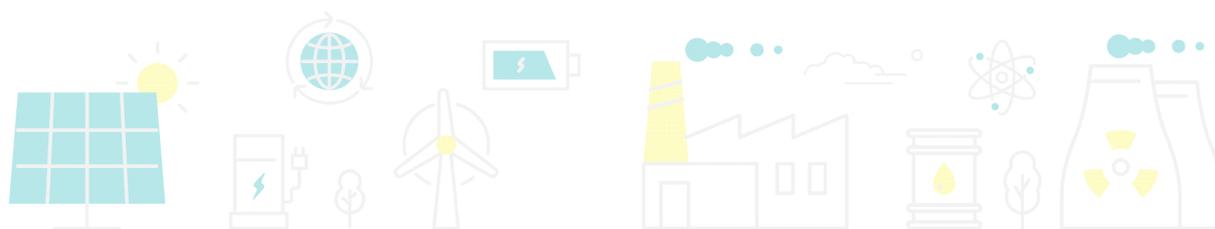
The latest global development in the energy sector caused by the war in Ukraine has once again made energy politics an area of interest for the world. It is very important that we do not let the energy crisis become a setback for the fight against climate change, but instead utilize it to create a faster green transition. Denmark has answered swiftly together with the EU and has, among other things, put sanctions on import of Russian coal. Even more, Denmark has presented a thorough plan for getting independent of Russian energy while boosting the production of renewable energy. This means Denmark will phase out natural gas by the latest at 2030, quadruple renewable energy on land by 2030 and look into the possibility of utilizing the full potential of 35GW offshore wind in Denmark before 2050, if needed for the European transition. And I am confident that with our great national experts and agencies Denmark can keep setting the bar for possible renewable integration higher.

Once again, I would like to express my gratitude for being able to kick-off this seminar and I look very much forward to greet Korea in Copenhagen on the 12th of May for the Ministerial meeting on environment ahead of COP27 later this year.

I wish you all a very good seminar and afternoon in Korea.

Gamsahamnida [thank you]

Tomas Anker Christensen (Climate Ambassador of Denmark)





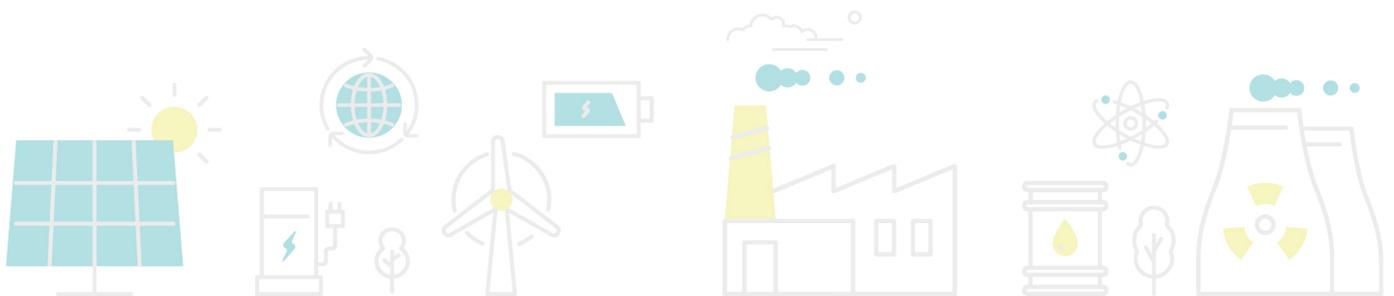
재생에너지 출력제어 현황과 문제점

김영환

제주 전력거래소 본부장

<프로그램>

시간	내용
개회사 및 축사	
16:00~16:10	<ul style="list-style-type: none"> •김성환 더불어민주당 국회의원 •토마스 안커크리스텐센 덴마크 기후대사[Online]
발제	
16:10~16:40	<ul style="list-style-type: none"> •발제1: 재생에너지 출력제어 현황과 문제점 발표자: 김영환 제주전력거래소 본부장 •발제2: 덴마크 재생에너지 출력제어 해결사례 : 제도적 접근을 중심으로[Online] 발표자: 비야케크리스티안 네퍼-라스무센 덴마크 에너지 공단 에너지 전문위원 •발제3: 재생에너지 확대를 위한 시장 제도 및 거버넌스 개선 방안[Online] 발표자: 파블로헤비아-코흐 국제에너지기구 에너지분석가
토론 [좌장: 이상복 이투뉴스기자]	
16:40~18:20	<ul style="list-style-type: none"> •정재환 산업통상자원부 전력계통혁신과 과장 •박만근 전력거래소 계통혁신처 운영처장 •이태의 에너지경제연구원 연구위원 •한가희 기후솔루션 연구원 •아나스스테인크리스텐센 덴마크 TSO 에너지넷 계통계획 책임자[Online]
질의 응답	
18:20~18:30	질의 응답 및 마무리



제주 재생에너지 초과발전 시사점

Implications of Jeju Excess Renewable Energy



KPX 전력거래소 제주본부장 김영환
(yhwan1129@kpx.or.kr)

전력설비 현황과 신재생비중

Status of Power Generation in Jeju and Percentage of New and Renewable Energy



제주지역 전력공급 설비는 21.12월말 기준 총 215.8만kW이며, 이중 신재생 설비는 82.8만kW로 설비용량 비중 38.4%를 차지하고 있으며, 2020.12월말 기준 신재생설비의 발전량 점유율은 18.2%로 풍력 10.5%, 태양광 7.5%로 변동성 재생에너지만으로 총발전량의 18% 를 점유

전력설비 현황(만kW)

['21.12월말 기준]

구분	설비용량	소계	
중앙급전 발전기	남제주기력#1,2	20.0	91.0 (42.2%)
	제주기력#2,3	15.0	
	제주내연#1,2	8.0	
	한림복합	10.5	
	제주LNG복합#1,2	22.9	
	남제주복합	14.6	
비중앙급전 발전기	신재생	82.8(38.4%)	84.9 (39.3%)
	태양광	52.6	
	기타	0.9	
	소계	82.8(38.4%)	
기타(폐기물)	1.9		
연계선	#1HVDC	15.0	40.0 (18.5%)
	#2HVDC	25.0	
전력설비 합계		215.8	

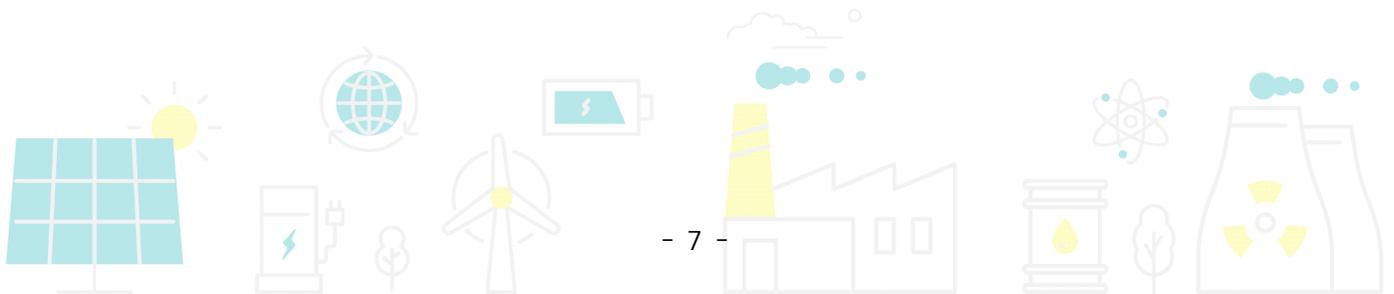
* 태양광 설비용량은 BTM 5.9만kW 별도

발전량 점유율(%)

['20년 연간 실적 기준]



- 제주발전기 (중앙급전 45.6%+기타(폐기물) 5.6%)
- 신재생 세부 점유율
 풍력 10.5% 태양광 7.5% 기타신재생 0.2%



신재생설비증가 추이및 출력제어 현황

Current Increase in New Renewable Energy Generators and Curtailments



최근 4년간 제주 재생E는 태양광 중심으로 크게 증가, 2015년 출력제어 처음 발생하였으며
제주지역 신재생 초과발전 Tipping Point 는 2018년(0.25%) → 2019년(1.65%)로 제어량 급증

신재생설비 증가 추이

구분	태양광	풍력	소계	평균수요
'15년	76.0	220.7	296.7	547.0
'16년	92.6	270.9	363.5	584.0
'17년	125.4	272.9	398.3	619.0
'18년	184.9	△ 59.5	266.5	451.4
'19년	293.8	△108.9	290.3	584.1
'20년	420.1	△126.3	294.7	714.8
'21년	525.6	△105.5	294.7	823.3
				670.0

풍력발전 출력제어 현황

구분	제어량(MWh)/횟수	제어비중
'15년	152 (3회)	0.04%
'16년	252 (6회)	0.05%
'17년	1,300(14회)	0.24%
'18년	1,366(15회)	0.25%
'19년	9,223(46회)	1.65%
'20년	19,449(77회)	3.24%
'21년	12,016(64회)	2.09%

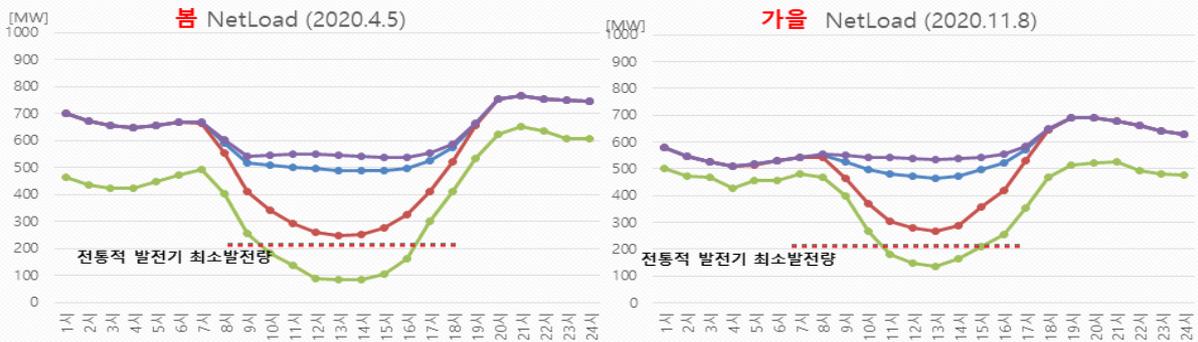
3

출력제어 발생시기(1)

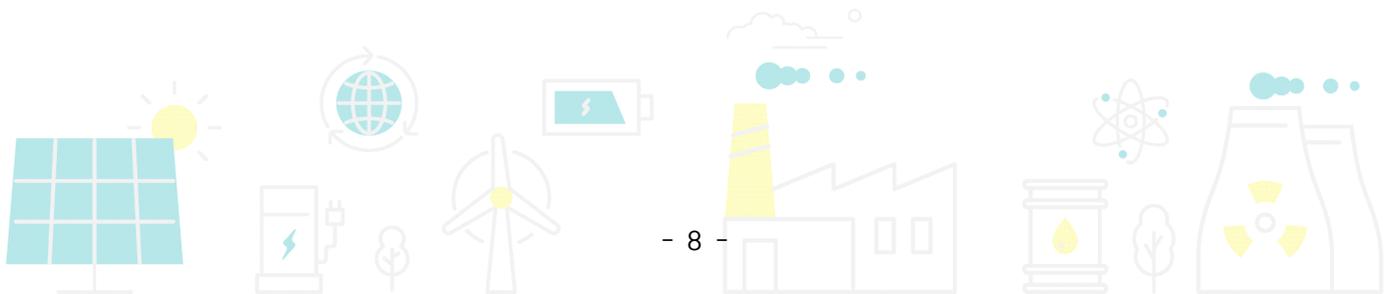
Curtailment Period (1)



신재생설비 증가에 따라 Duck Curve 현상이 심화되면서
전력수요가 낮은 봄, 가을철, 주말 경부하시기 출력제어 집중 발생

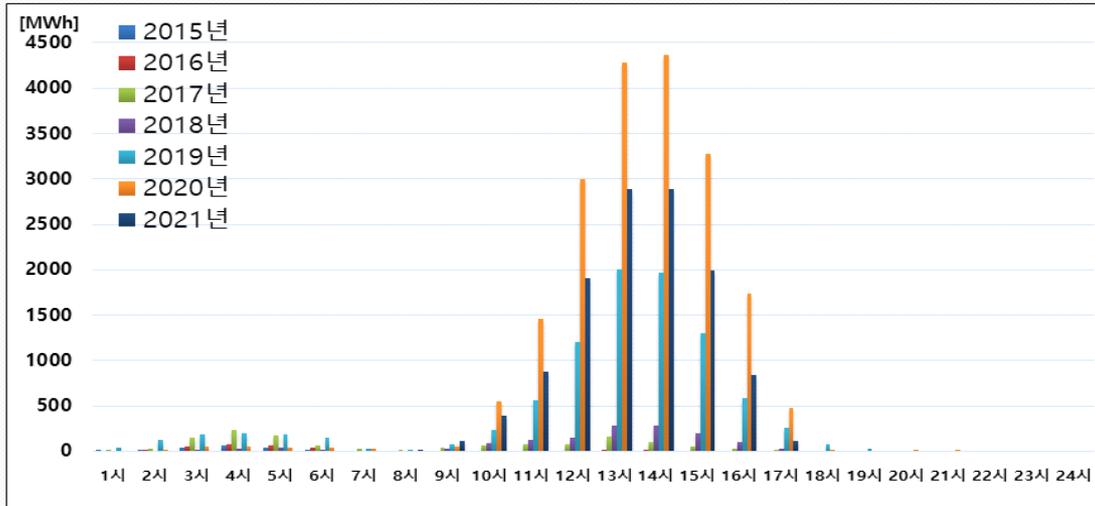


4



출력제어 발생시기(2) Curtailment Period (2)

발생시간으로는 풍력, 태양광 발전량이 겹치는 낮 시간 (태양광발전량 분포와 유사)

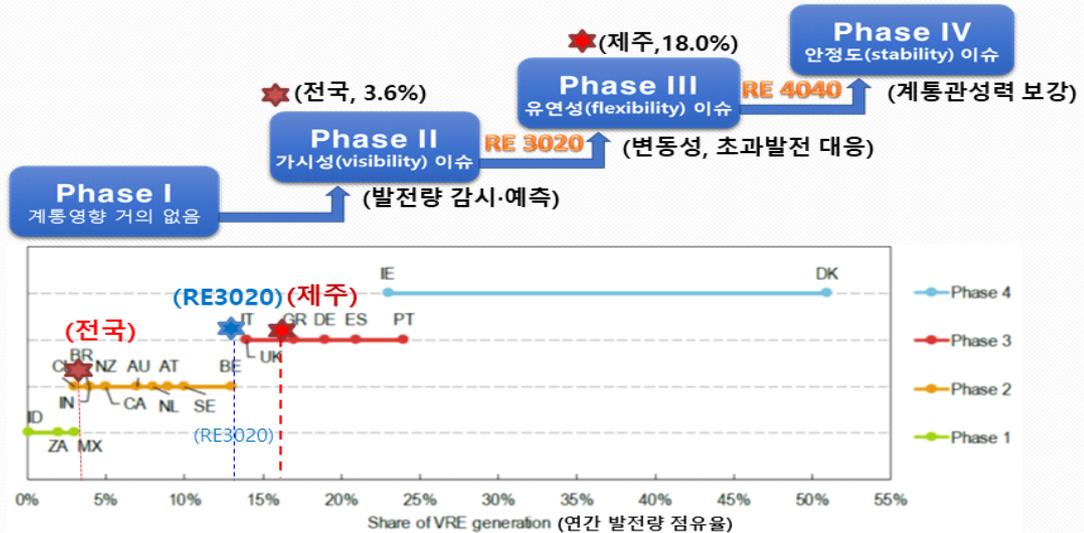


5

신재생보급단계별 조치사항

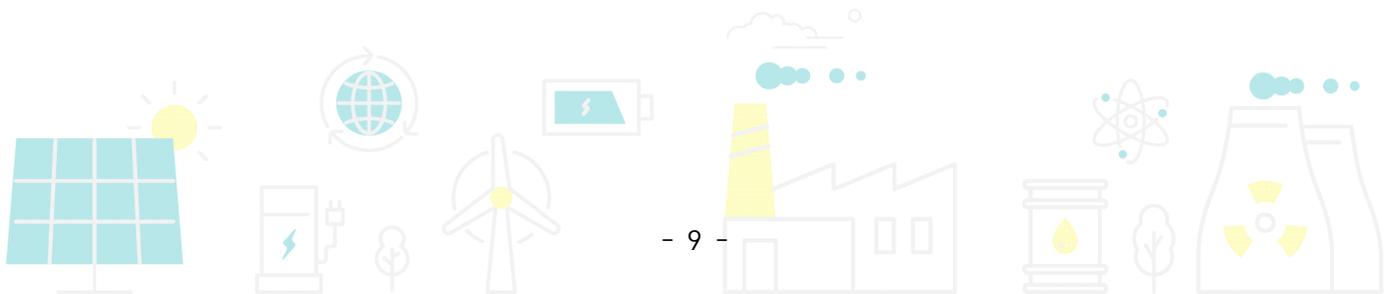
Measures on various phases of New and Renewable Energy

재생E 보급단계별 대책 및 필요사항을 제시한 IEA 보고서에 따르면 '20년 제주는 전력계통 영향 3단계로 재생E 변동성 및 초과발전에 대한 대책이 필요한 상황



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

6

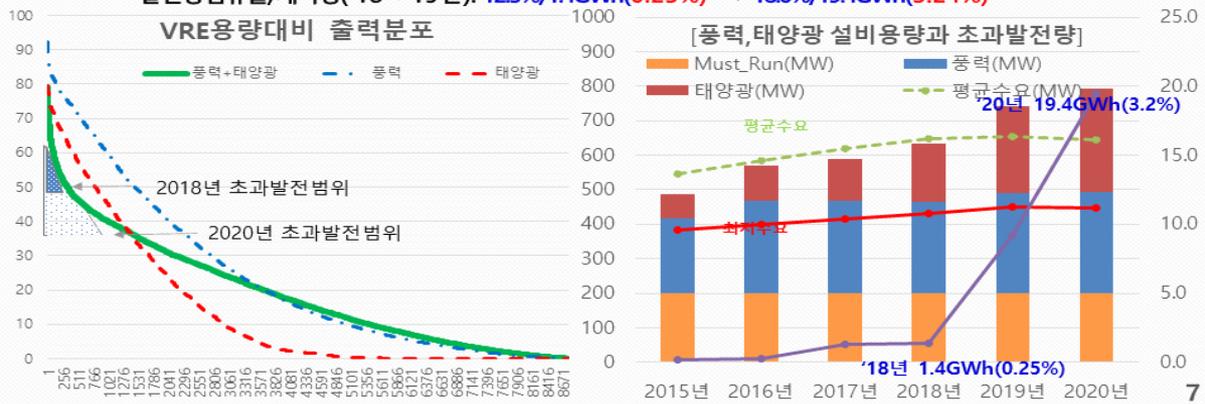


신재생 설비용량과 초과발전 관계

Relationship between New and Renewable Energy Capacity and Excess Generation



- 초과발전 인과요소 : 수급한계, 송전한계, 안정도(관성력 및 예비력)
- Causes of curtailment : Supply limit, Transmission limit, Stability (Inertia and reserve)
 - '18년 제주 VRE한계량(231MW) = ① 전력수요(431MW) - ② Must Run 발전량(200MW)
 - '20년 제주 VRE한계량(226MW) = ① 전력수요(446MW) - ② Must Run 발전량(200MW)
 - * **Must Run**: 상정고장 대비 일반발전기 최소운전량 (최저수요 시간 발전기 4대, 최소운전부하)
- 신재생 설비용량 대비 초과발전량(제약율) 비교
- Comparing new and renewable energy capacity and curtailment
 - VRE설비용량('18→'19년): 481MW → 652MW
 - 발전량점유율/제약량('18→'19년): 12.5%/1.4GWh(0.25%) → 18.0%/19.4GWh(3.24%)

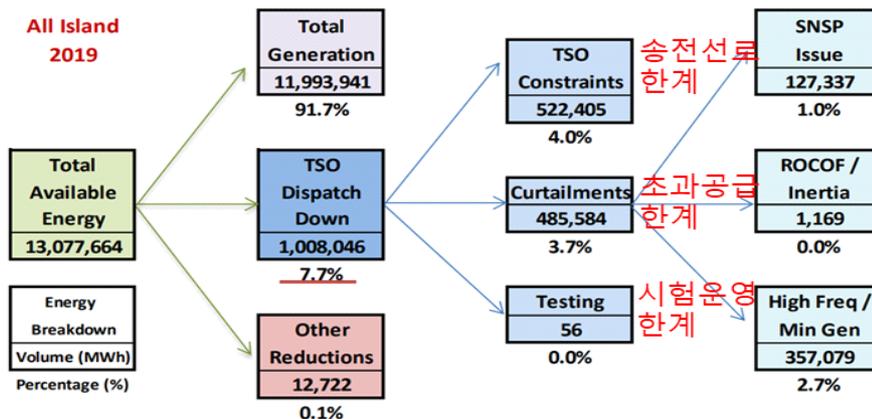


신재생 초과발전 해외사례(아일랜드)

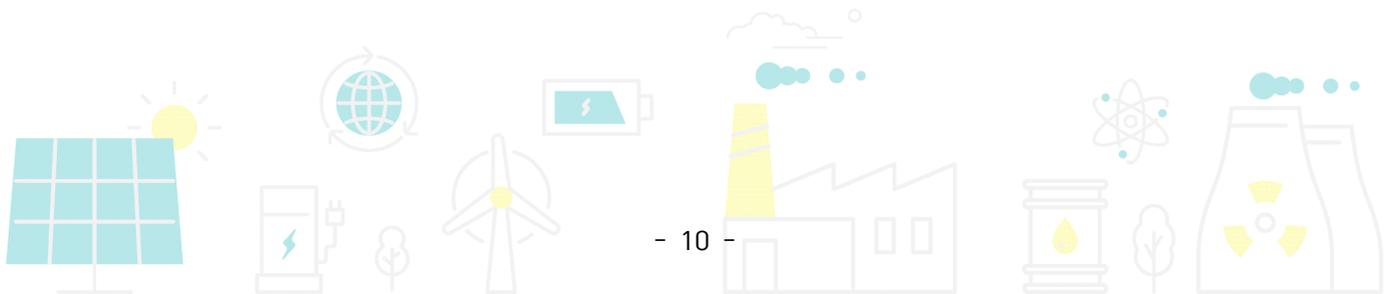
Excess Generation of New and Renewable Cases Abroad (Ireland)



- 아일랜드 신재생출력제어 현황(2019년, 신재생보급률 31.1%)
- Ireland RE Curtailment Status (2019, Renewable Energy accounts for 31.1% of total energy)



- * SNSP Issue : 전력계통 내 비동기(Non-Synchronous) 발전원 비율 제한으로 인한 출력감발
- * High Frequency/Minimum generation : 주파수 유지 및 발전기 최소발전용량 제한에 의한 출력감발
- * ROCOF/Inertia : 주파수변화율(Rate Of Change Of Frequency) 기준 및 관성에너지 확보를 위한 출력감발
- * Other Reductions : DSO/DNO Constraints, Testing 등



초과발전 완화대책(1)

Possible Solution for Excess Generation (1)



출력제어 최소화를 위한 완화대책 ('20~'21)

- 중앙급전발전기 최소출력 하향 및 HVDC 최소운전('20.1~)
 - Lowering minimum generation rate of scheduled generator, and minimal use of HVDC ('20.1 ~)
 - 기력 및 복합발전기 최소출력 기준대비 10~16MW하향 조정
 - ☞ '20년 초과발전량 50%감축, '21년 25,562MWh 출력제어 완화 효과
- 제1연계선을 이용한 70MW 역송('21.4~)
 - Reverse transmission of 70MW to the mainland through the no.1 transmission line
- 신재생연계형 ESS(22MW) 운영을 피크시간 방전중심에서 출력제어시간 충전 중심으로 기준 개선('20.7~)
- 초과발전시간 전력소비를 유도하는 Plus DR 도입('21.3~)
 - '21년 총 9회 (28시간) 발령으로 낙찰량 19.86MWh, 이행 10.387MWh(이행률55%)
 - 그리드위즈 전기차충전(P2M) +DR 개시('21.10~)

출력제어 완화효과 : '20년 77회 19,449MWh → '21년 64회 12,016MWh

9

초과발전 완화대책(2)

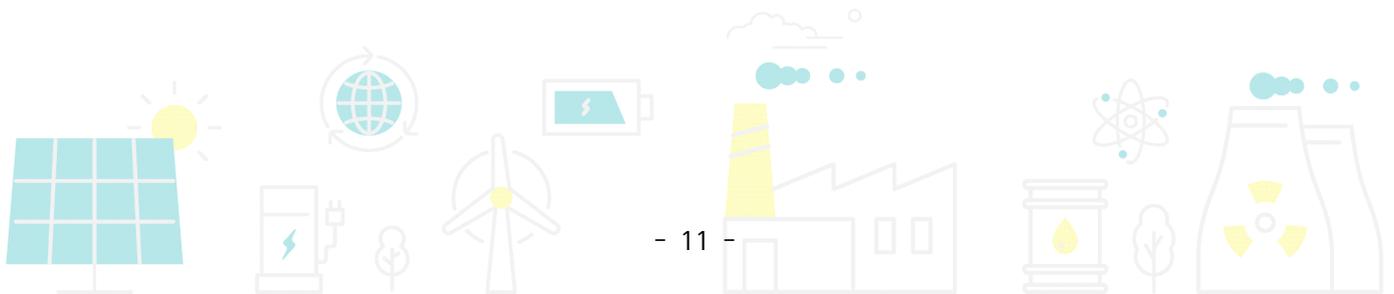
Possible Solution for Excess Generation (2)



출력제어 최소화를 위한 추진중인 대책 ('21~'23)

- (안정도 확보) 태양광 인버터(LVRT) 성능개선 집중 추진
 - (Ensuring stability) Focus on improving the performance of solar inverter (LVRT)
 - 안정적인 연계선 역송을 위해 태양광 396MW 이상 LVRT 성능 개선이 필요하나 태양광 사업자의 미동의, 인버터 단종 등으로 지연 중
- (유연성자원 확보) 주파수 조정용 ESS 운영
 - (Ensuring Flexibility) Running of ESS for frequency adjustment
 - 상정고장시 주파수 하락폭 완화로 필수운전 발전기(Must Run) 운전 대수 감소
 - ☞ (現) 40MW/10MWh → ('22.08) 90MW/33MWh
- (전압보상 등 계통안정화 설비보강) 제주변환소 측 동기조상기 추가 설치
 - (Capacity incentive and establishing grid stability) Additional installation of synchronous ancestors at Jeju Conversion Station
 - (기존) 20MVar 2기 → (변경) 50MVar 2기
 - 무효전력 공급범위 확대 등으로 계통안정에 기여
- (송전망 연계) 전압형 HVDC (제3연계선) 적기 준공
 - (Connecting Power Grid) Timely construction of HVDC (No.3 transmission line)
 - 전압형 HVDC 도입으로 실시간 양방향전송으로 재생에너지 및 수요 변동성에 유연한 대응
 - 전류형 HVDC(제1,2 연계선)은 실시간 양방향 제어체계 전환 및 선로 극성전환에 장시간 소요

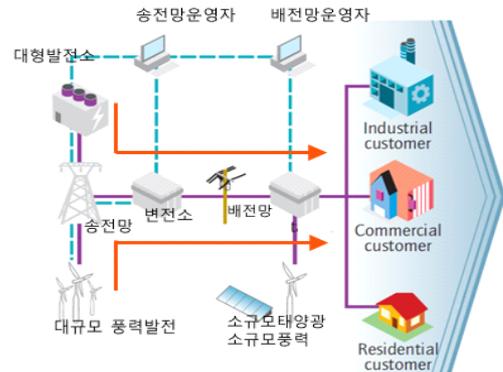
10



전력공급체계 분산화의 의미(1) Implications of Diversifying Energy Sources (1)

(현재) 중앙집중형 전력공급체계 (Now) Centralized electricity distribution

한전, 전력거래소, 대형발전사 중심의 전력공급체계에서 분산자원, 수요자원 등 새로운 Player 등장과 주연이 바뀌고 있음 → 전통 발전원은 예비발전원으로 뒷받침 역할,

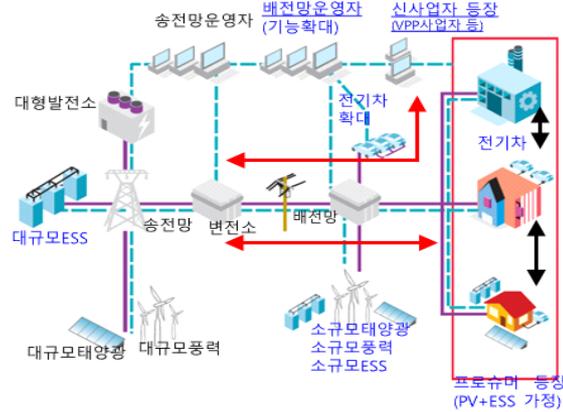


* 제어흐름 →

수동적 Local Grid(집중적 단방향 제어)

(향후) 분산형 전력공급체계 (Future) De-centralized electricity distribution

다양한 분산자원 신재생에너지와 수요자원(VPP)이 주인공 안정적 전력공급에 대한 역할과 책임 필요

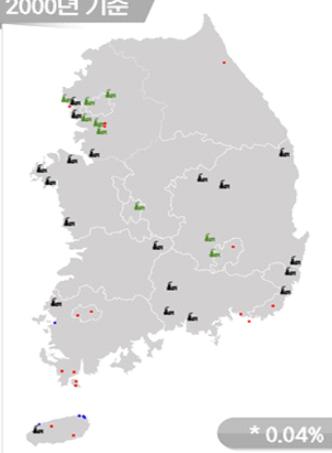


능동적 Local Grid(분산적 양방향 제어)

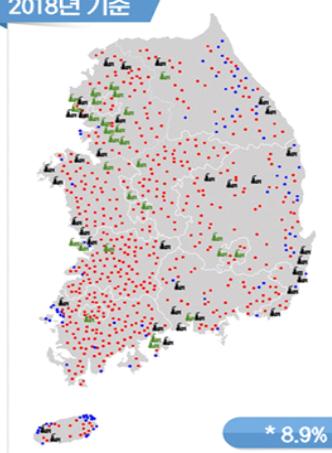
전력공급체계 분산화의 의미(2) Implications of Diversifying Energy Sources (2)

☒ : 원자력, 석탄, 복합화력 ☒ : LNG CHP ● : 500MW 이상 신재생 단지 ● : 100 ~ 500MW 신재생 단지 ● : 태양광 20MW 규모 ● : 풍력 10 ~ 20MW 규모

2000년 기준



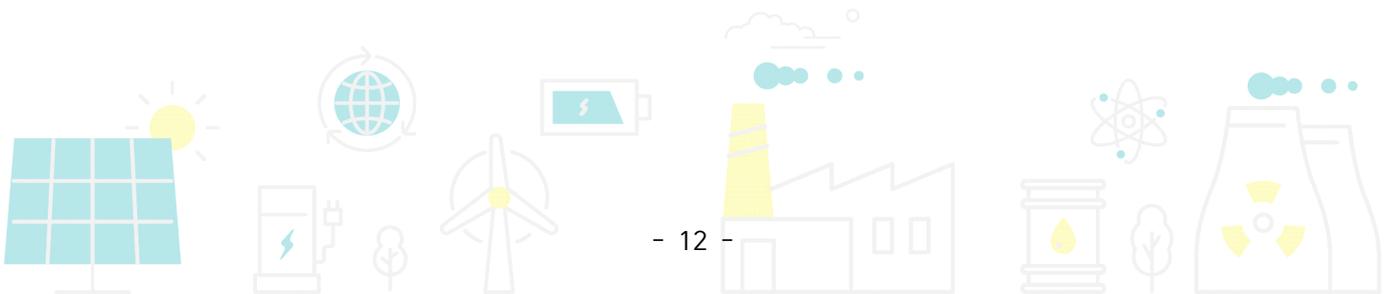
2018년 기준



2040년 예상



* 연도별 총발전량 대비 신-재생에너지 발전량 비중



전력공급체계 분산화의 의미(3) Implications of Diversifying Energy Sources (3)

(현재) 중앙집중형 전력공급체계 Centralized Power Grid

- 중앙정부, 국가전력수급기본계획
- 원전, 석탄, LNG 중심. 발전소 입지 수도권외부 지역에 위치, 송전제약
- 국가단위 송전망 운영
전력거래소(ISO)/한전(TO/DO)
- 발전용량 중심의 하루 전 전력시장
- 소규모전력중개시장, DR시장
전국단일 종별,(일부)계시별요금제

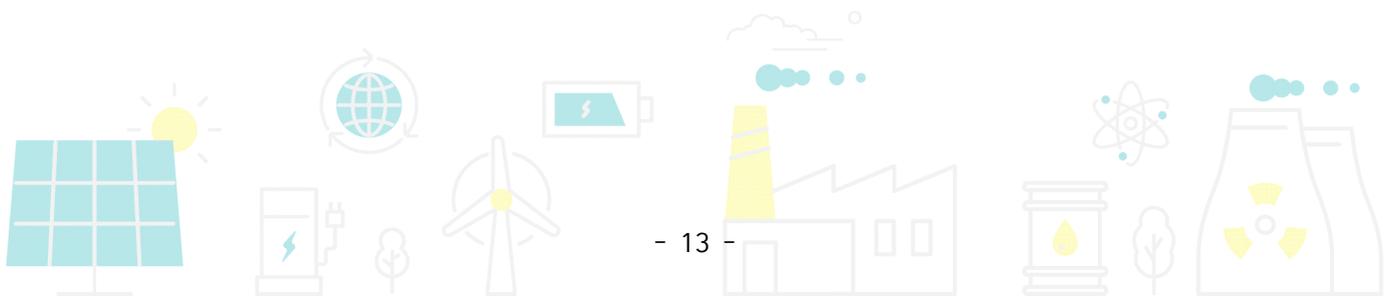
(향후) 분산형 전력공급체계 Decentralized Grid

- 지역에너지 분권 및 정책역량 강화
권역별 탄소중립계획 수립 및 추진
- 태양광/풍력 재생에너지의 주전원화
신재생자원 남부지역 집중, 지역간 전원 불균형 심화 -> 송전제약 심화
- 지역단위 그리드, 마이크로그리드.
광역단위 TSO 와 지역단위 DSO
- 신재생 및 VPP자원 참여 실시간시장
보조서비스 비용최적화와 시장형성,
신재생대응 예비력 및 관성자원 확보
- ESS, VPP, DR, Sector Coupling(P2M, P2H, P2G) 자원의 전력시장 참여,
계시별요금제 적용, 송전요금제(?)

신재생 통합관제체계 구축 Implementation of Centralized Control System for New and Renewable Energy



- 기상정보예측시스템, 풍력 태양광 발전량 예측, 실시간 전력수요예측시스템
- 48시간 풍속상황도, 24시간, 6시간 풍력 및 태양광 발전량 예보
- 실시간 신재생발전량, 초과발전 전망, 온라인 수요예측 화면 운영
- 전력거래소 VRE자원 + VPP자원, 한전PPA, BTM 태양광, 수요자원 실시간 데이터 통합 및 관제체계 구축



➤ 실시간·보조서비스시장 신설

추진방향 재생에너지의 변동성 등 실시간 수급여건이 시장가격에 반영되도록 **실시간*·보조서비스**시장** 도입(제주 '23년, 육지 '25년 예정)

* 실시간시장

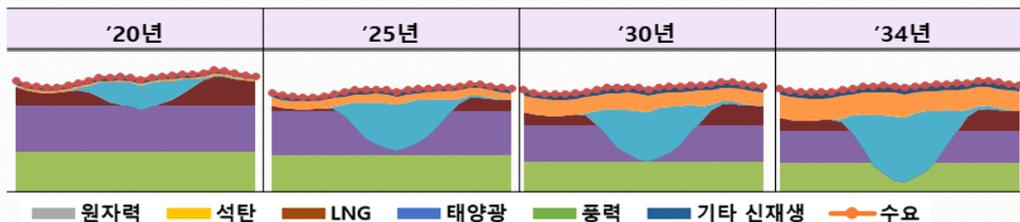
- 시장가격을 1시간 단위에서 15분 단위로 단축하여 가격 단위 세분화
- 하루전시장 이후 실시간 15분마다 전력시장 개설, 플랫폼의 고도화·자동화

** 보조서비스시장

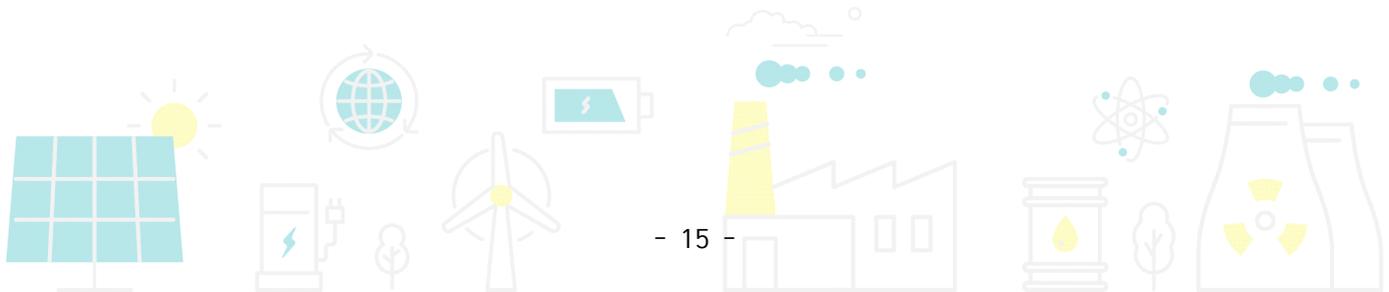
- 유연성 자원의 유연성 제공에 대한 적정 가치 보상을 위한 시장
- 실시간 15분마다 유연성 자원에 대한 보조서비스시장 개설

기대효과 재생에너지 증가에 따른 변동성 문제를 실시간·보조서비스시장을 통해 비용효율적으로 해결하고 유연성 자원 확대에 기여

- (現)전력시장의 문제점
- Problem with current electricity market
 - 현 전력시장은 하루전시장만 운영하고 있어, 이후 재생에너지 발전량 변화 등을 반영한 **실시간 가격기능 부재**
 - * 하루전시장 대비 실시간의 차이는 여전히 부가정산금(MWP, MAP)으로 처리
 - **부가정산금은 추가 비용만을 개별적으로 보상하므로, 변화된 수급여건에 맞추어 발전력을 조정하려는 유인동기(이윤동기) 부족**
 - * 실시간 가격 기능 : 발전력 부족 → 실시간 가격 상승 → 발전력 증가
 - 향후 **탈탄소화로 간헐성자원(재생에너지)이 증가하게 되면 실시간 변동성이 급증하여 하루전시장만으로는 밸런싱 유지가 곤란하므로 실시간시장 필요**



* 9차 수급계획 토대 미래 전력 공급 믹스 전망



◆ 실시간 전력시장 개설

- (주요내용) 신재생 변동성 등 수급여건을 반영하여 정확한 전력의 가치를 산정하고 보상하는 실시간 시장 신설
- (Central point) Taking into account the variability of Renewable Energy, improve electricity supply through accurate reflection of the real-time value of electricity.
 - (현재) 하루전시장(1시간단위로 다음날 24시간에 대해 하루전 1번 개설) → (변경) 하루전시장 + 실시간시장(15분 단위로 거래당일 15분마다 개설)
- 하루전시장은 기동하는데 많은 시간이 필요한 발전기의 운용계획을 결정하고,
- 실시간시장은 실시간 전력의 생산과 소비에 맞추기 위해 빠르게 움직일 수 있는 유연성 자원의 추가 투입 및 실시간 출력 조정, 예비력 미세 할당 역할 수행
 - 실시간시장은 실시간 상황* 을 반영하여 시장가격이 결정되므로 시장원리에 의해 실시간 수급균형(밸런싱)이 유지된다는 점에서 매우 중요
 - * 재생에너지 변동성, 송전선로 불시고장 등 하루전에 예측할 수 없는 요소
- (도입시점) 재생에너지 비중이 높은 제주를 대상으로 시범운영('23년) 후 안정화 단계를 거쳐 전국으로 확대 적용('25년)
- (Period of adoption) Firstly, run a pilot program in Jeju where new and renewable energy proportion is high (2023) and extend it to the mainland after adjustment period (2025)

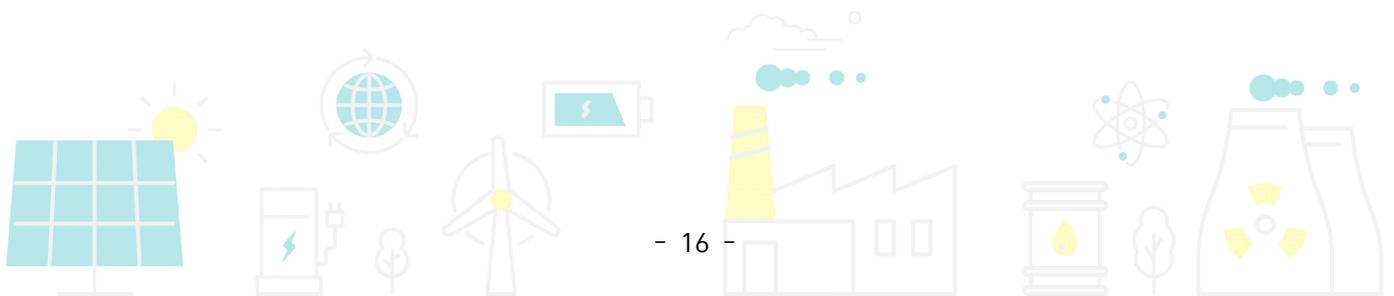
◆ 보조서비스 시장

- (주요내용) 실시간시장과 함께 15분 단위의 보조서비스 시장을 도입하고, 에너지뿐만 아니라 예비력도 상품화하여 실시간으로 거래
- (Central point) In addition to real-time market, adopt 15 minute based ancillary services market where power reserve will also be traded real-time.

< 예비력 상품('21년 기준) >

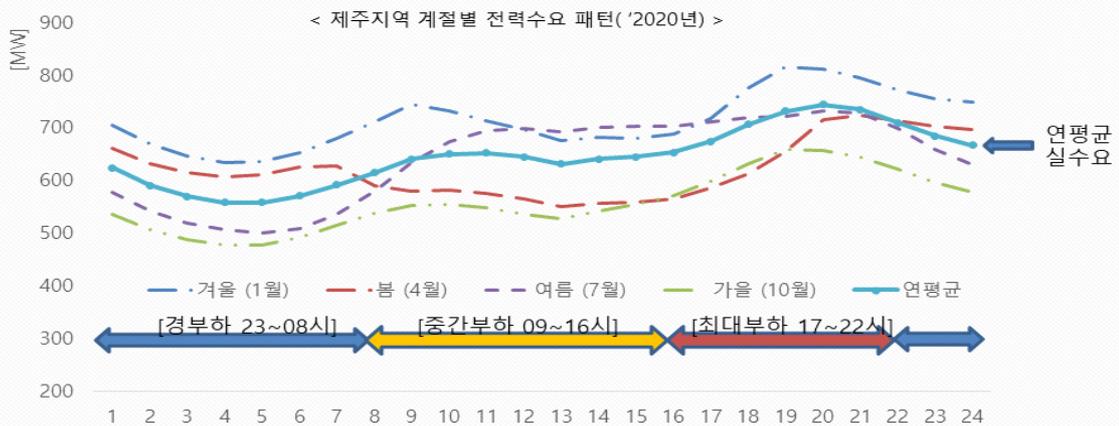
예비력 종류	성능요건	최소확보량
1차예비력	10초 이내 응답 5분 이상 출력유지	700MW
주파수제어예비력	5분 이내 응답 30분 이상 출력유지	1,000MW
2차예비력	10분 이내 응답 30분 이상 출력유지	1,400MW
3차예비력	30분 이내 응답	1,400MW

- 예비력용량가치정산금은 전년기준 단일 평균단가이나, 보조서비스 시장이 도입되면 단가기준이 아닌 시장가격으로 결정되어, 예비력 부족 시 예비력 가격이 인상되므로 예비력의 실시간 가치 반영 가능
 - * 예비력가격 : 실시간 예비력을 제공하는 발전기의 기회비용(실시간 시장가격(실시간 SMP)-발전기의 자기연료비) 중 가장 높은 가격으로 결정



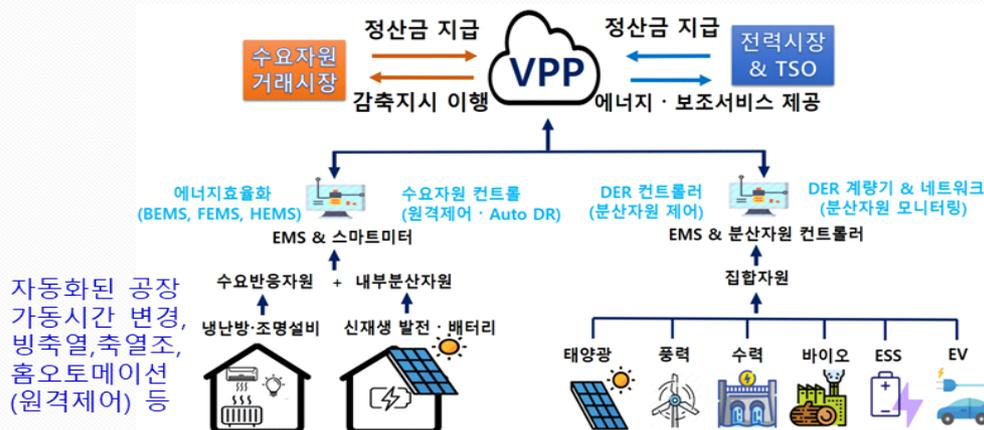
계시별요금제('21.9, 제주시범적용중) Seasonal Time-of-Day Pricing

- ▶ 제주지역 주택용 계시별요금제 시범운영 중, 최초 시행이니만큼 전기소비자가 쉽게 적응할 수 있도록 최대한 단순하게 실수요기준으로 운영
- ▶ 신재생 초과발전 억제 (신재생에너지 활용), 에너지 비용효율 등을 고려하여 계절별 시간별 차등화 예정



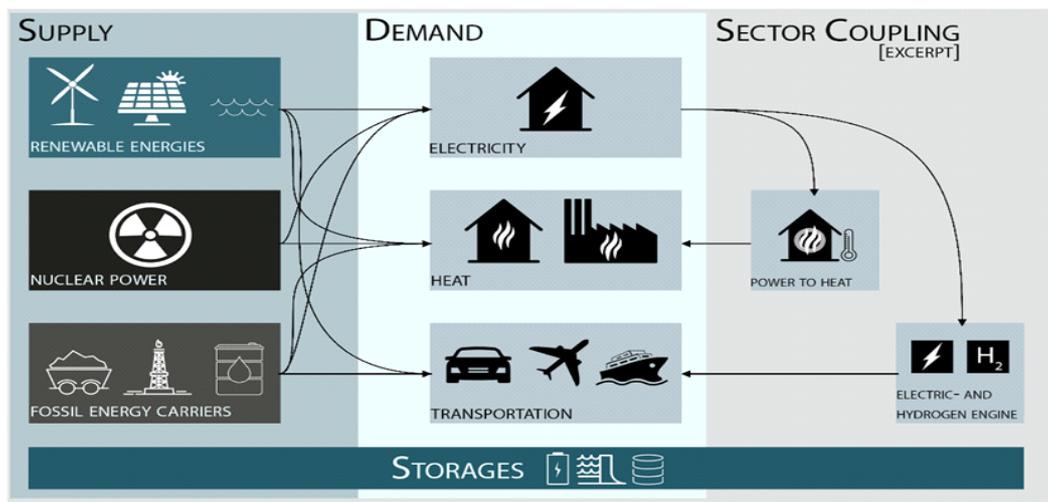
VPP(Virtual Power Plant)의 등장과 진화 Introduction and Evolution of Virtual Power Plant

- ▶ 일정규모 이상의 재생에너지 및 수요자원을 병합하여 전력시장 입찰에 참여
- ▶ 발전량 예측, 실시간 발전량 정보 제공을 통한 계통운영계획 반영
- ▶ 전압제어, 예비력 제공 등 중앙급전발전기와 유사하게 계통안정운영에 필요한 가시성 확보와 유연성 문제를 해결



에너지부문간 연계(Sector Coupling)

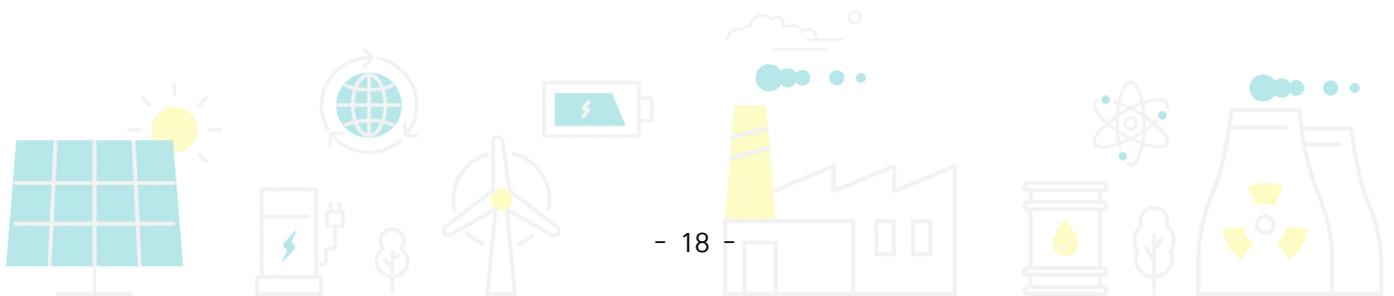
- 열, 수송 등 타에너지부문과의 연계를 통한 에너지비용 최적화
 - 전기차, 전차, 축열, 수소생산 등의 저장수단 활용과 사용시간차 활용



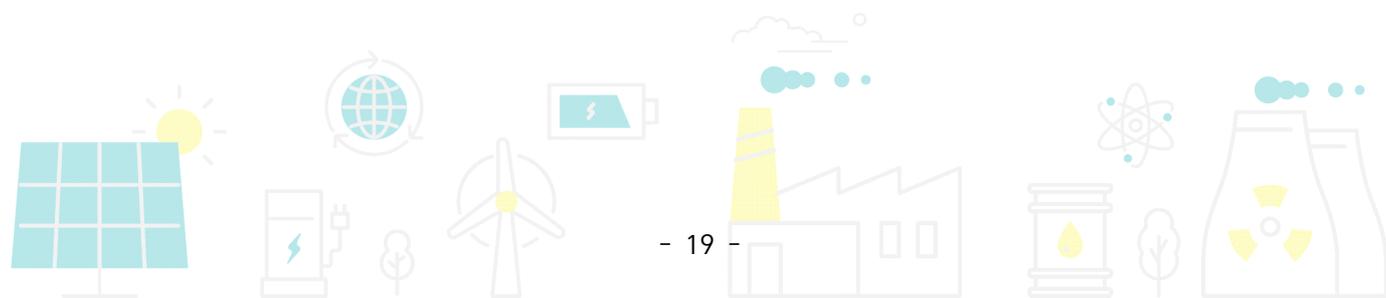
Sector Coupling 제주실증과제

제주지역 P2X 실증연구과제

분야	사업명	예산	사업기간	참여기관
P2H	출력제한을 이용한 Power to Heat 개발 실증	135억원	'22.4~'25.12	제주에너지공사, 인터텍, 에코브레인, 에너지기술연구원, 한국생산기술연구원, 한국냉동공조산업회
P2G	12.5MW 재생에너지 연계 대규모 그린수소 실증기술 개발	622억원	'22.4~26.3	한국남부발전, 할로하이드로젠, 선보유니텍, SK에코플랜트, 예스티, 지필소스, 국가가스기술공사, 한수원, 한국에너지공단, 제주에너지공사, 제주도, 제주대
P2M	잉여전력을 활용한 전기차 충전스테이션 실증사업	124억원	'22.5~'25.12	한화에너지, (주)차지비, (주)대은, (주)그리드엠, 제주TP, 광주과학기술원, 에너지경제연구원, 한국전자기술원



경청해주셔서 감사합니다! ^^
Thank you very much!





덴마크 재생에너지 출력제어 해결사례 : 제도적 접근을 중심으로

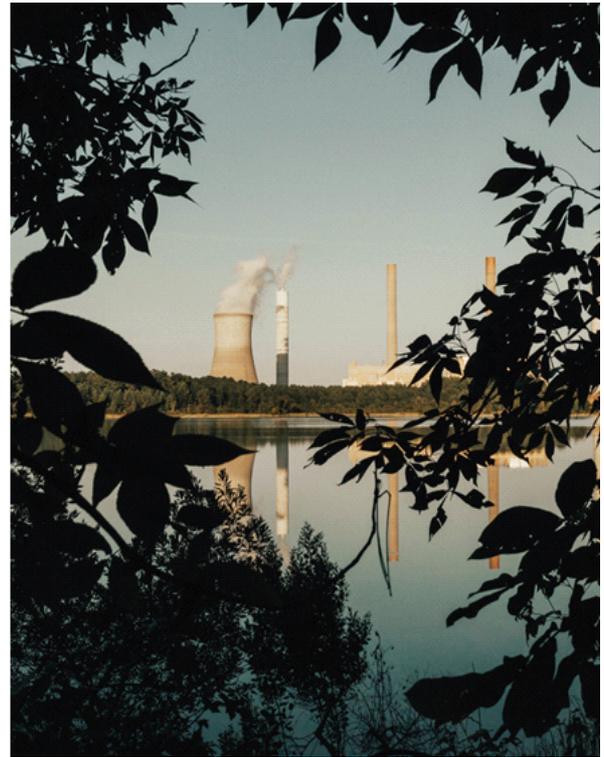
비야케 크리스티안 네퍼-라스무센

덴마크 에너지 공단 에너지 전문위원

Development and Role of Flexibility in Denmark

덴마크 전력계통의 유연성 확대와 역할

by  Danish Energy Agency

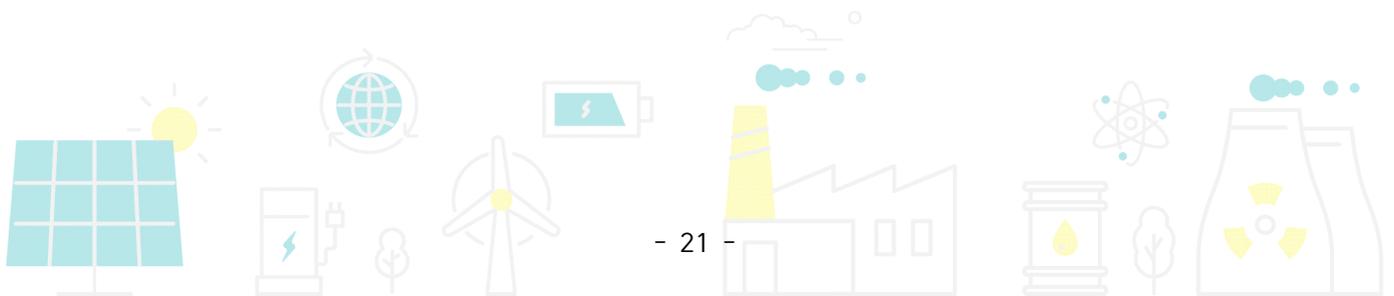
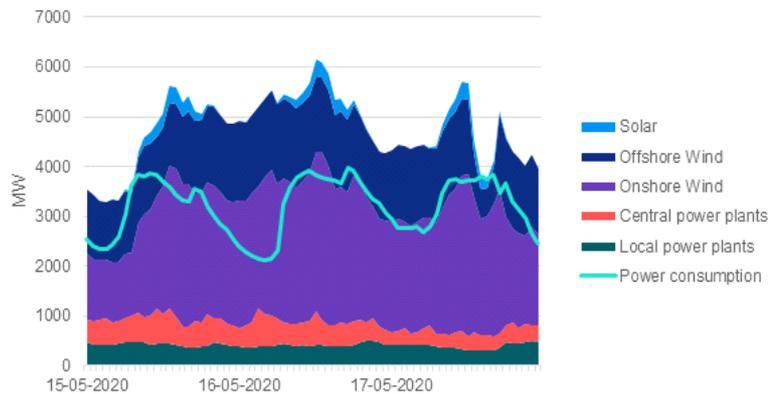


Flexibility 유연성

 Danish Energy Agency

Definition: *The ability of a power system to cope with variability and uncertainty in both generation and demand, while maintaining a satisfactory level of reliability at a reasonable cost, over different time horizons" (Ma, 2013).*

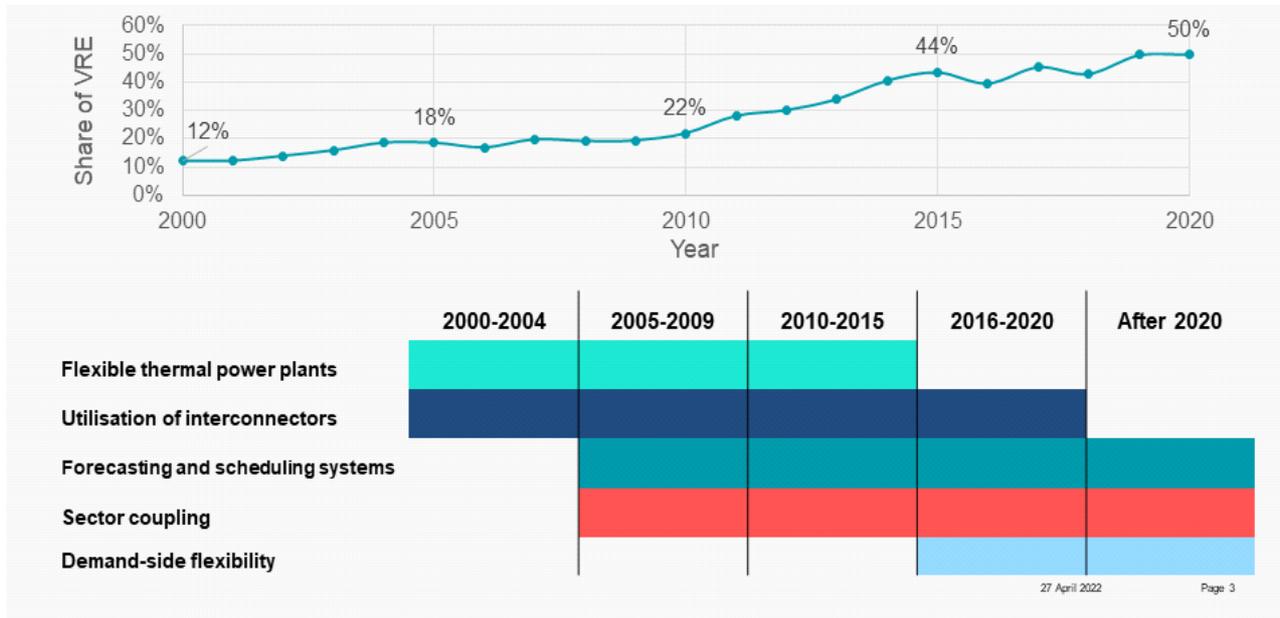
의미: 전력계통에서 합리적인 비용으로 시간대별 발전 및 수요의 변동성과 불확실성에 대처하여, 계통 안정성을 유지하는 능력.



Report structure: Chronologically reviewing flexibility solutions

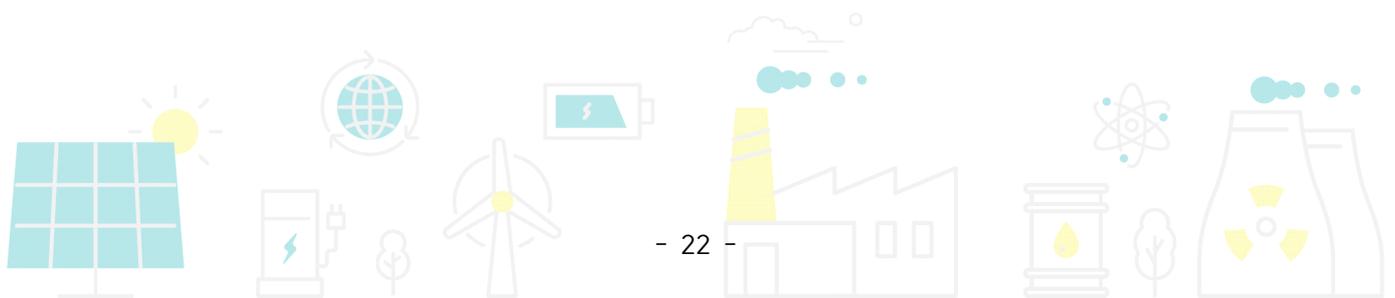
보고서 소개: 연대별 유연성 확대 방안 검토

5 main categories of flexibility and role of the market 시장의 역할과 유연성의 5가지 주요 범주



Key features of the Danish liberalised power sector

덴마크 전력 자유화의 주요 특징



Outage minutes in Europe 유럽의 정전 시간 (분 단위)

20 minutes of outage or security of supply of 99.996%. 20분간의 정전 또는 99.996%의 신뢰도

Minutes of outage per consumer per year (10-year average)



2000-2004

12-19% of VRE

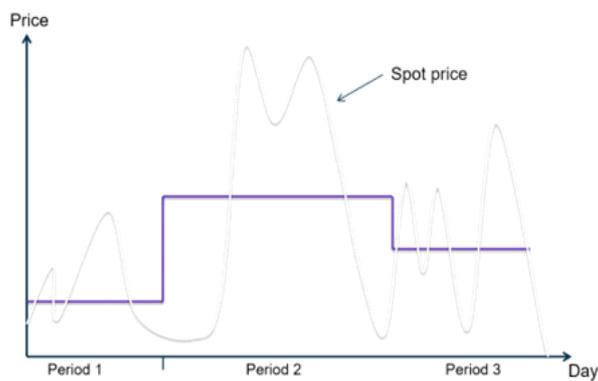


Figure 6: Difference between three-part tariff pricing and spot market price formation

Period 1



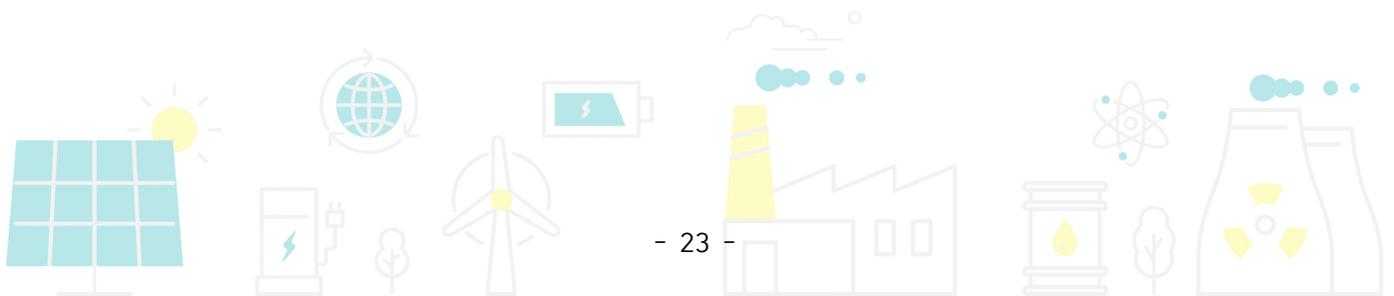
Dynamic electricity pricing
다이나믹한 전력 가격 설정



CHP flexibility
열병합발전의 유연성



Utilising interconnectors
인터커넥터 사용



Utilisation of interconnectors 인터넥터 사용

When joining the Nordpool exchange, the entire interconnector capacity is made available for market dispatch
 Nordpool 연계를 통해 연결되는 전체 발전 용량을 시장에서 활용할 수 있음

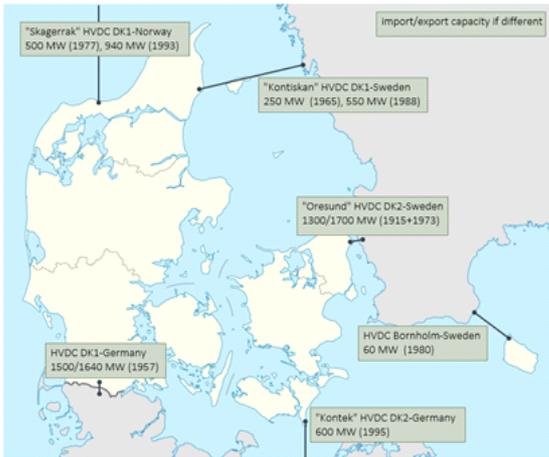


Figure 8: Map of interconnectors as of 2004

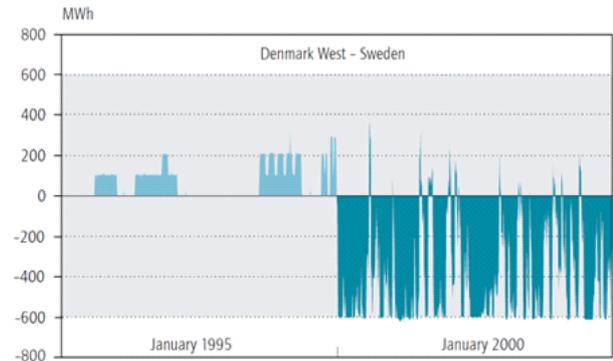
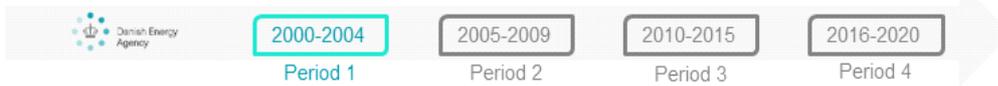


Figure 7: Flow over the interconnector between Western Denmark and Sweden in January of 1995 and 2000. Positive numbers illustrate import and negative numbers illustrate export, and the shaded area marks the rated capacity of the interconnector



2005-2009

VRE share between 18-20%

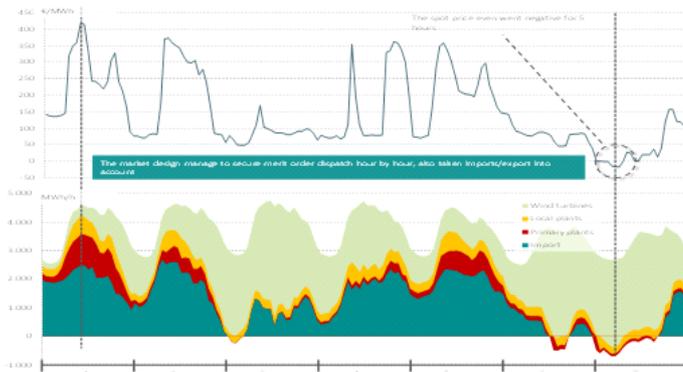


Figure 13: Example of how negative spot prices incentivise power plants to consume electricity

Period 2



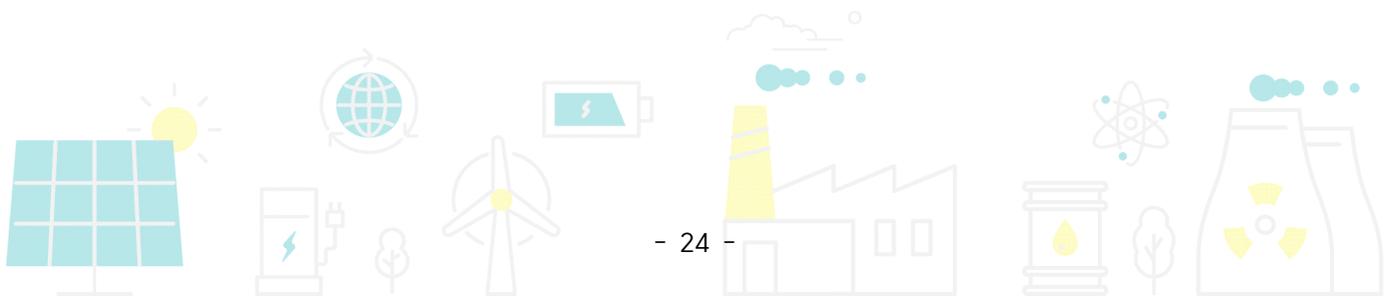
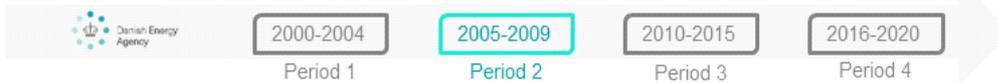
Improved operation of generators
발전기 운영방안 개선



Economic incentives for flexibility
유연성 제고를 위한 경제적 인센티브 제공



Negative pricing
마이너스 가격 조성



2010-2015

First power system to reach 22-44% VRE share

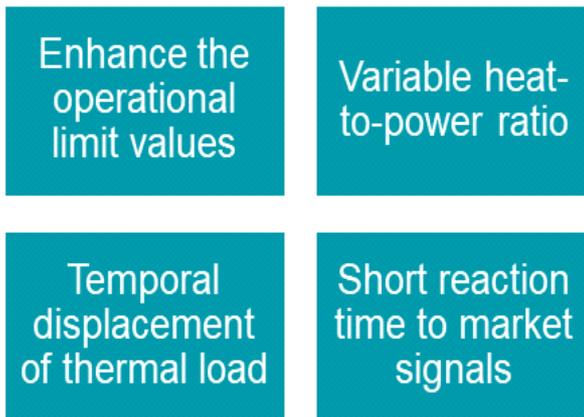


Figure 15: Implemented flexibility improvements in thermal power plants

Period 3



Thermal plants delivering flexibility – decoupling electricity and heat
화력발전소의 유연성 제고 – 전력과 열 분리



Utilisation and flexibility of interconnectors
인터커넥터들의 사용과 유연성 제고



2000-2004

2005-2009

2010-2015

2016-2020

27 April 2022

Page 9

2016-2020

50% of VRE reached

- Interconnectors + European market
- Wind delivers ancillary services
- Synchronous condensers



Period 4



Demand-side management
수요 관리



Datahub
데이터 허브



New concepts in the European power market
신개념 유럽 전력계통



2000-2004

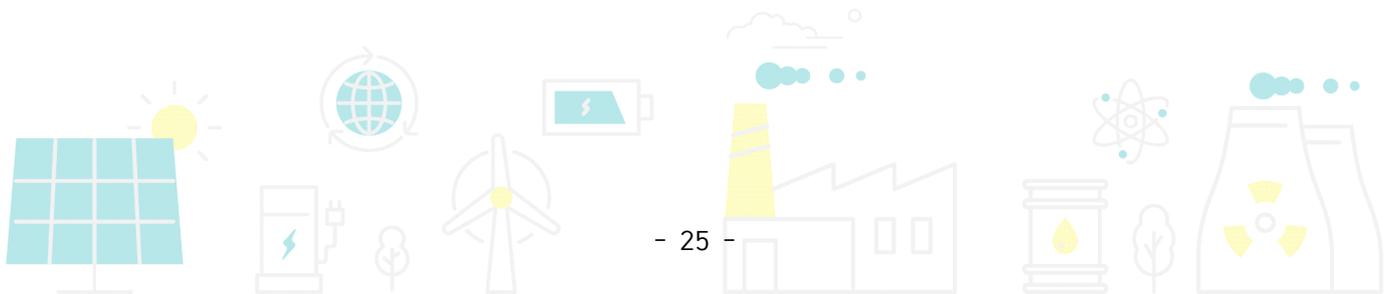
2005-2009

2010-2015

2016-2020

27 April 2022

Page 10



Beyond 2020: Future of a 100% RE Danish power grid

2020을 넘어서: 100% 재생에너지 달성을 위한 덴마크 전력계통의 미래

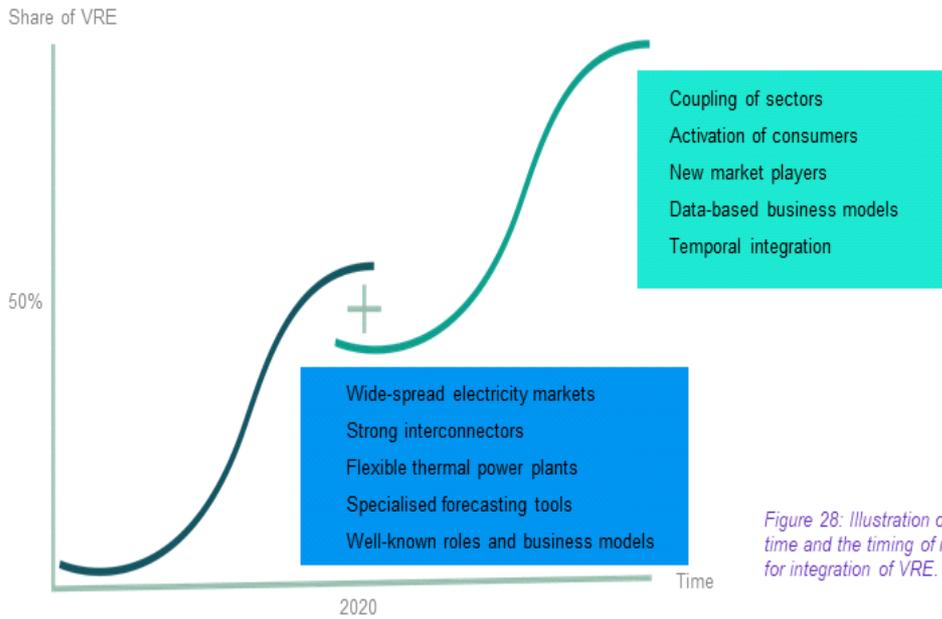
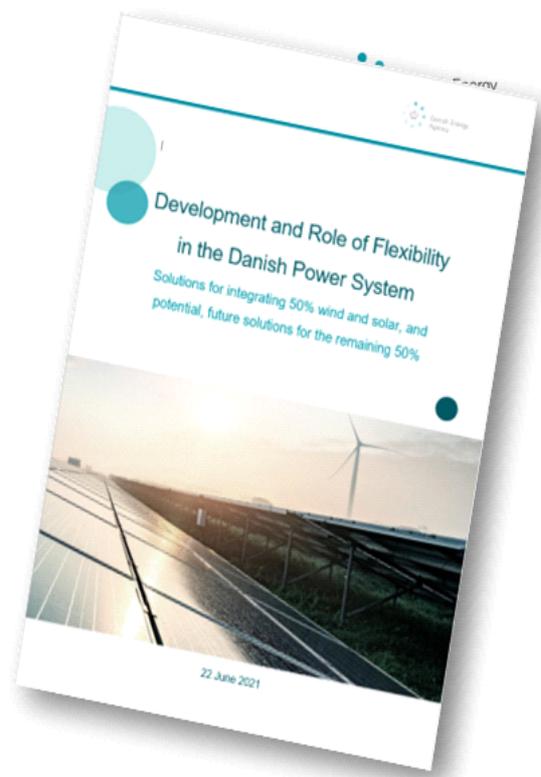


Figure 28: Illustration of growth in VRE penetration over time and the timing of relevant and expected measures for integration of VRE. Source: Energinet.

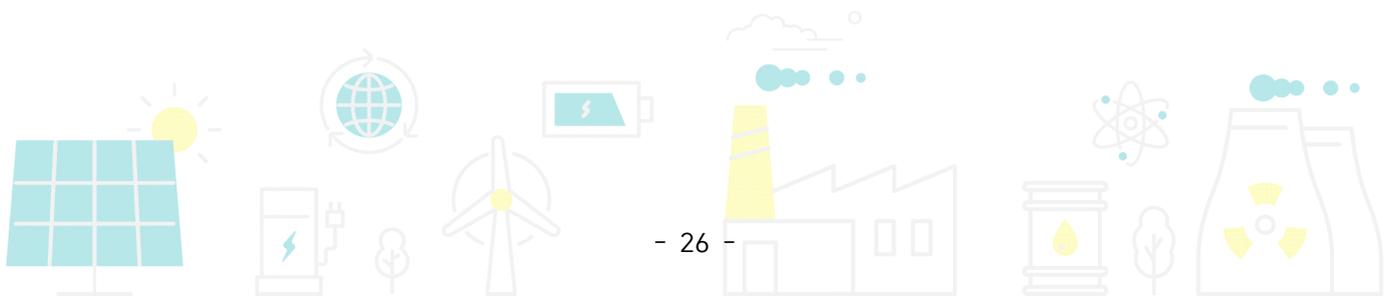
27 April 2022 Page 1

In Conclusion 결론

- Flexibility is not a goal in itself
유연성 자체가 목표는 아님
- Design pricing scheme that reflects system requirements
시스템의 요구를 반영한 가격체계 구축
- Enlarge balancing areas
밸런싱 영역의 확대
- Improve scheduling and forecasting
계통 계획과 예측 능력의 향상
- Explore future innovative flexibility solutions
혁신적인 차기 유연성 방안 탐색



by  Danish Energy Agency **ENERGINET**





Centre
for Global
Cooperation

Thank You

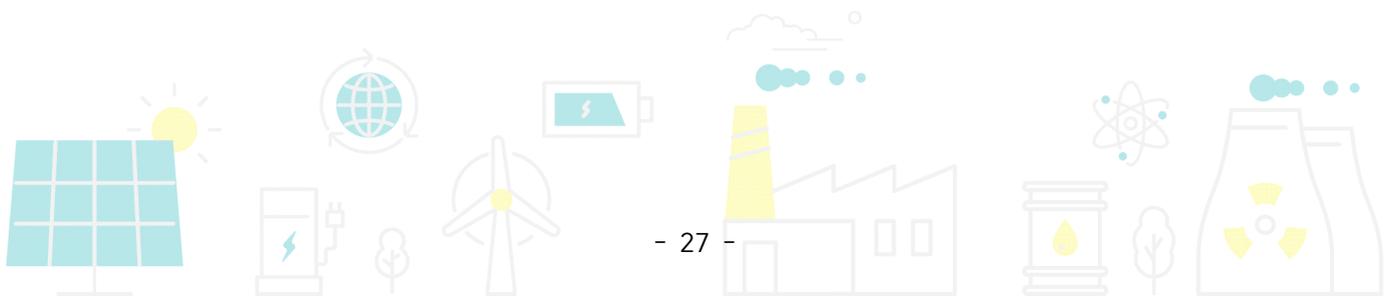
Report



Bjarke C. Nepper-Rasmussen

Advisor

bcrn@ens.dk





재생에너지 확대를 위한 시장 제도 및 거버넌스 개선 방안

파블로 헤비아-코흐

국제에너지기구 에너지분석가



Reforming Korea's Electricity Market for Net Zero

탄소중립을 향한 한국 전력시장 개선방안

Pablo Hevia-Koch, PhD - Renewable Integration and Secure Electricity
파블로 헤비아 코흐 박사 - 재생 에너지 통합 및 전력 보안

28 April 2022

International Energy Agency

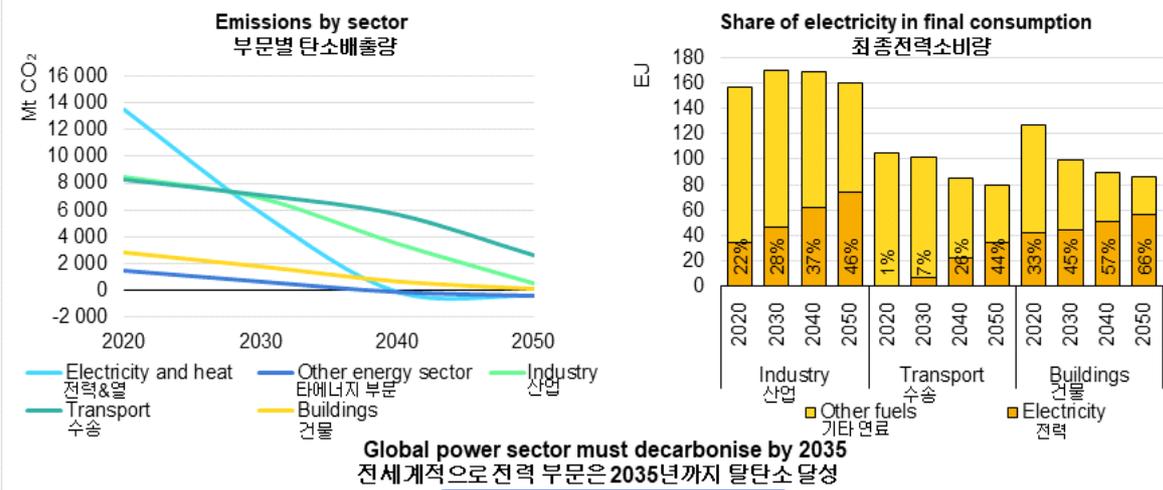
The power sector is key for achieving net zero

전력부문은 탄소중립 달성의 핵심

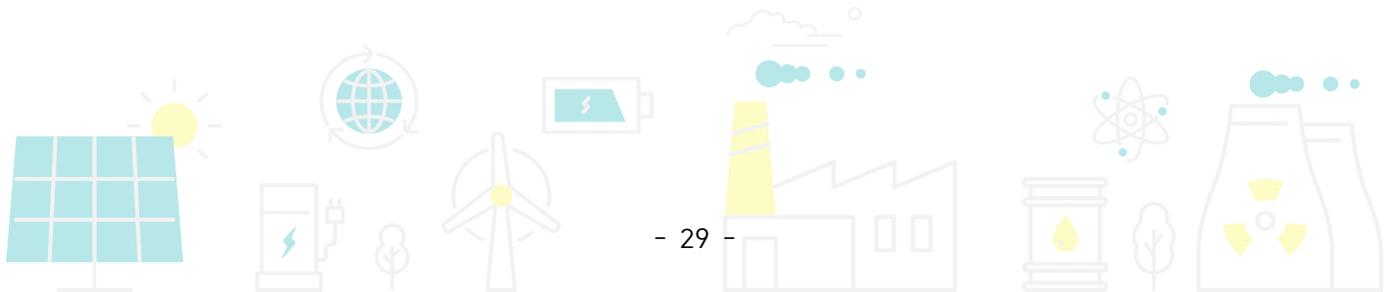


Despite being responsible for the largest share of annual emissions (40% globally in the 33.9 GtCO₂ emissions in 2020), it also has the most potential to decarbonise rapidly due to the existence of **mature technologies**. Advanced economies would see zero emissions before 2040.

전력부문이 연간 탄소 배출량의 가장 큰 부분을 차지하고 있지만 (2020년 33.9 GtCO₂, 전세계 40% 차지), 성숙한 기술이 이미 존재하고 있기 때문에 빠르게 탈탄소 가능성이 높은 부문임. 선진국은 2040년 전에 배출량이 zero를 달성할 것.

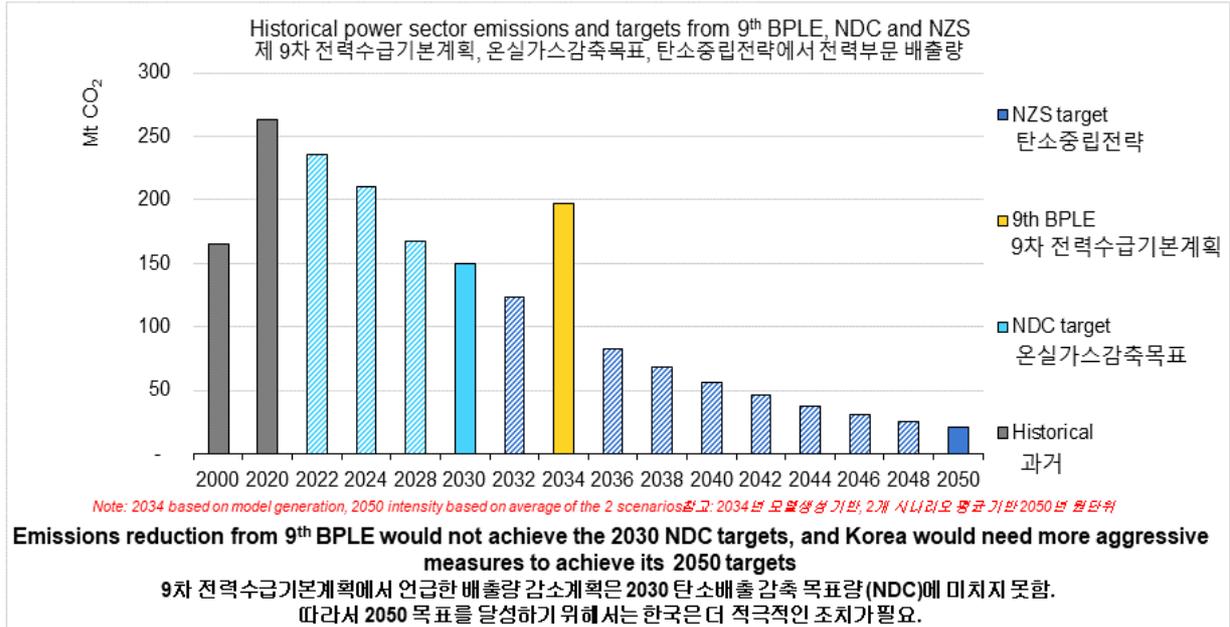


IEA 2021. All rights reserved.



Current path for decarbonisation lags behind the targets

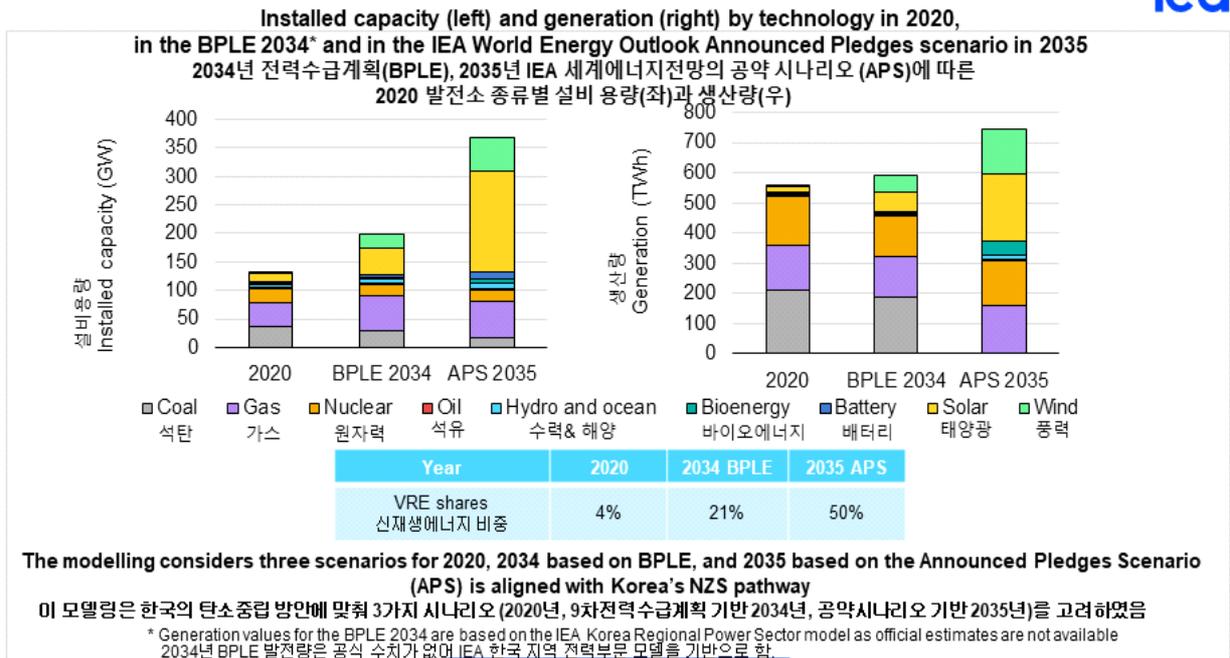
탄소중립 목표보다 뒤쳐져 있는 현재의 한국 에너지 계획



IEA 2021. All rights reserved.

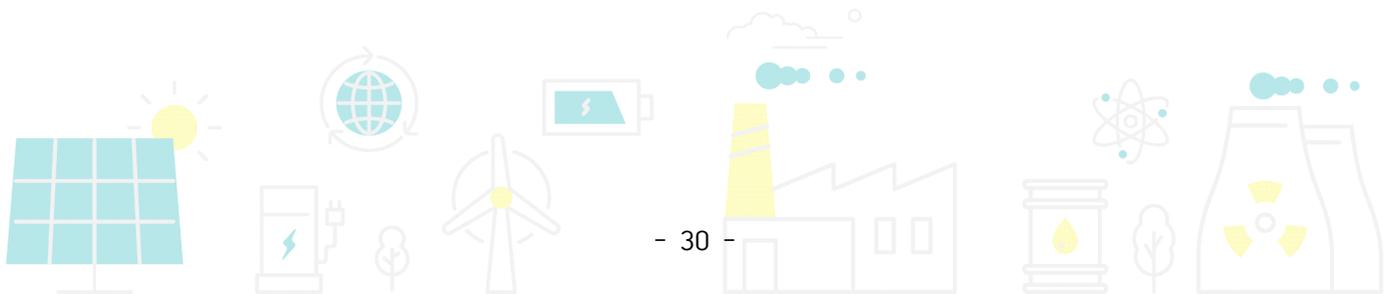
Page 3

Scenario overview 시나리오 개요



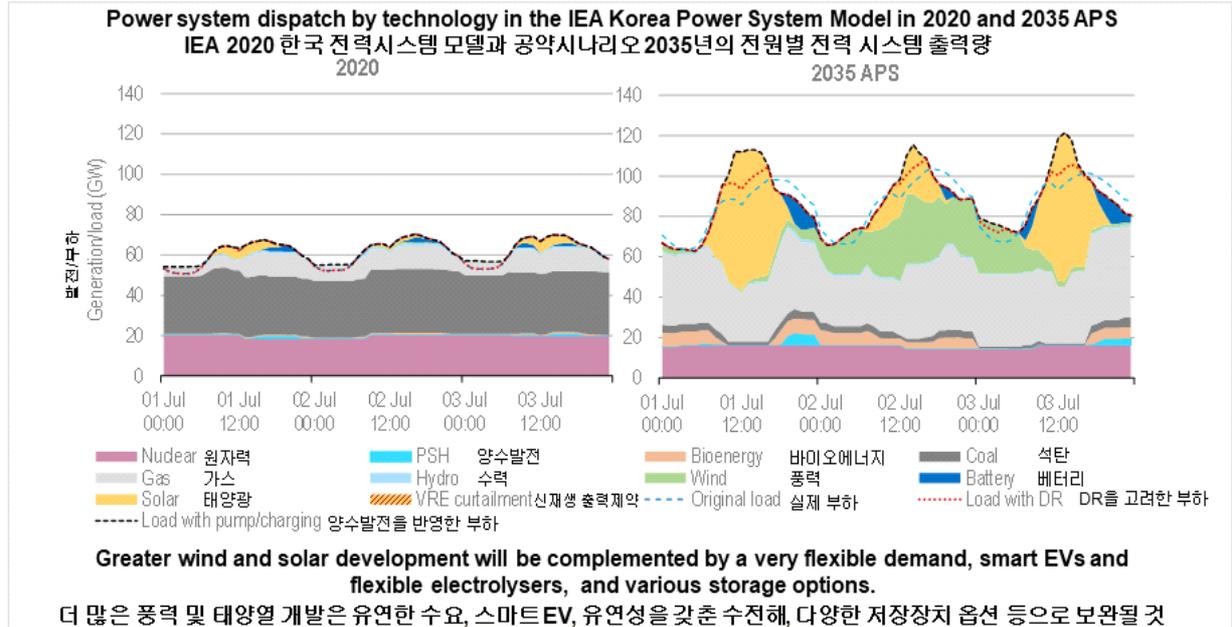
IEA 2021. All rights reserved.

Page 4



Daily flexibility requirements in a decarbonised power system

탈탄소 전원 시스템을 위한 일일 유연성 요구사항

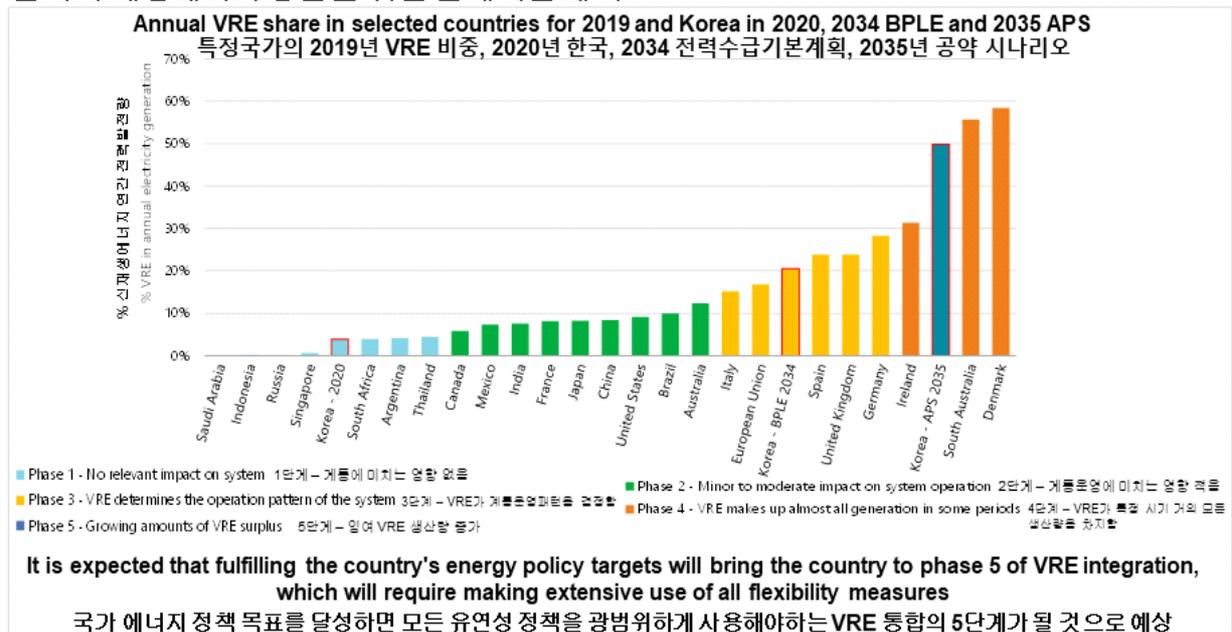


IEA 2021. All rights reserved.

Page 5

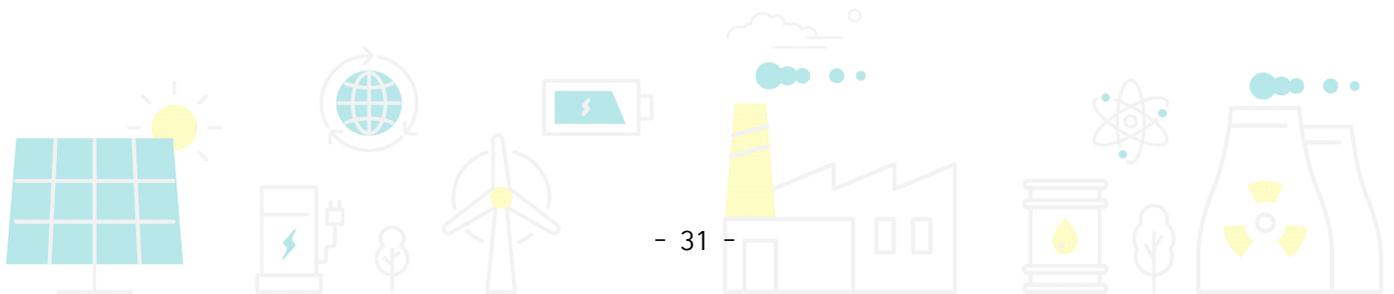
Planning ahead for Korea's integration challenges

한국의 재생에너지 통합을 위한 선제적인 계획



IEA 2021. All rights reserved.

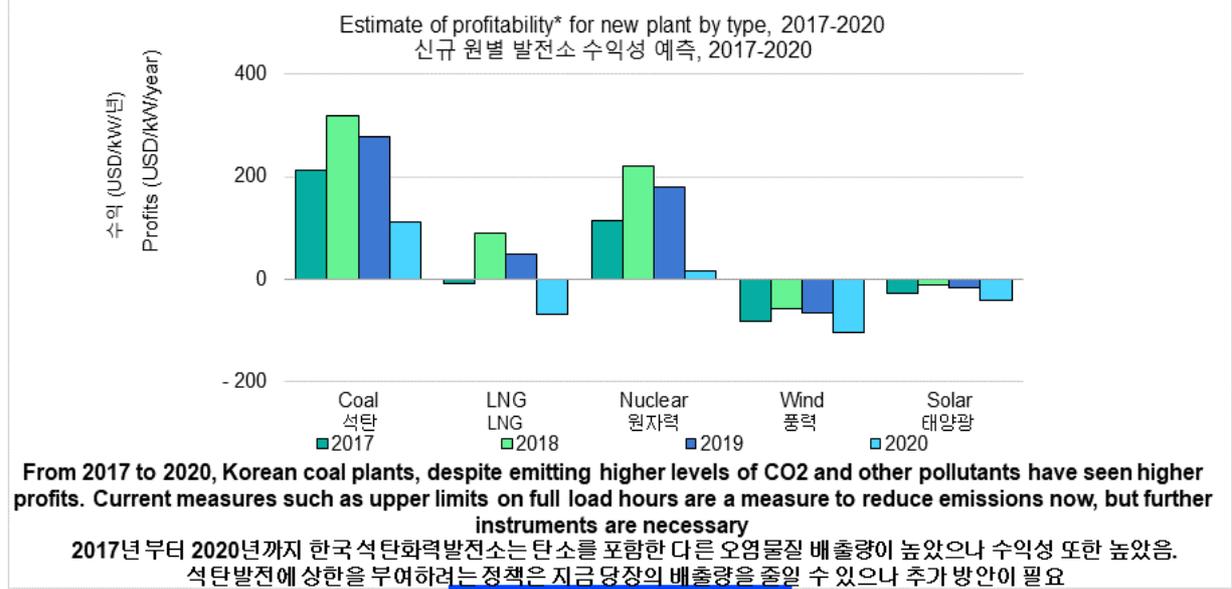
Page 6



Korea's current electricity market design works against its long-term climate ambitions



한국의 현 전력시장 구조는 한국의 장기 기후 목표와 불일치



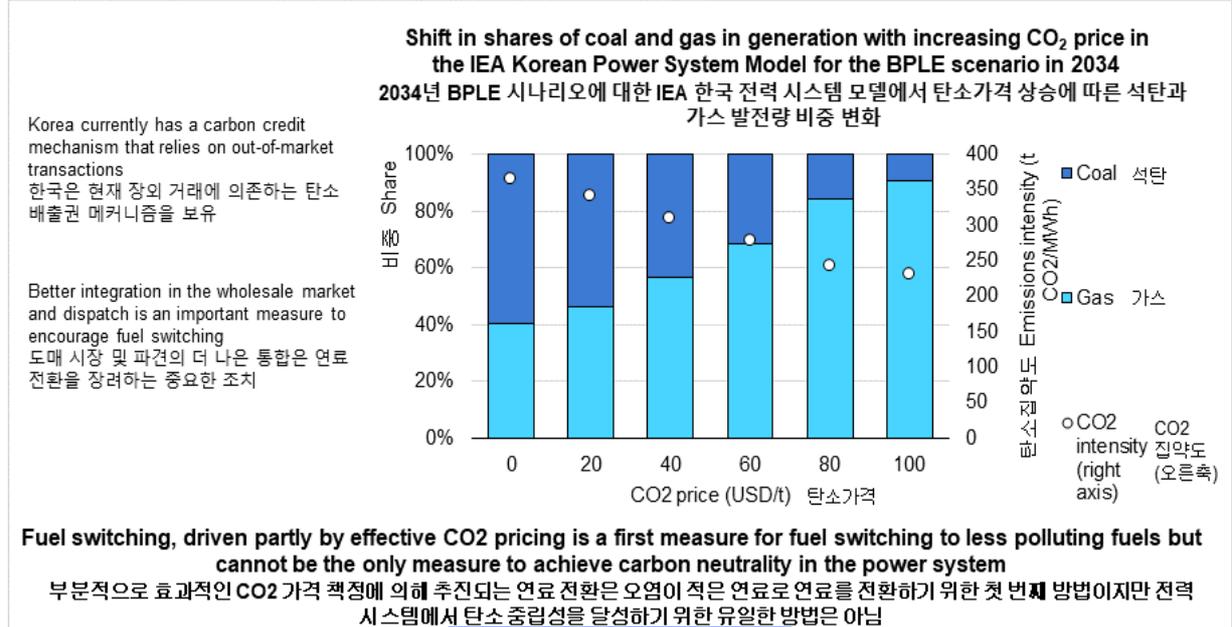
IEA 2021. All rights reserved.

Page 7

Carbon pricing as a first approach to fuel switching

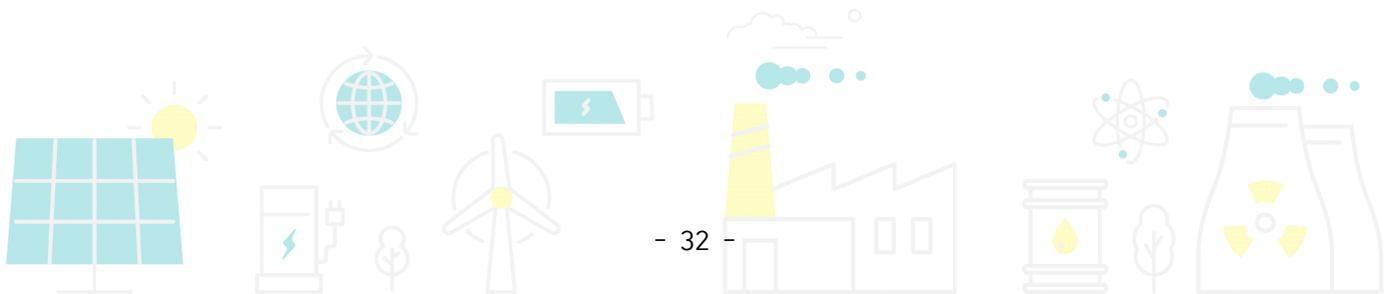


연료 전환을 위한 첫 번째 접근 방식은 탄소 가격 책정

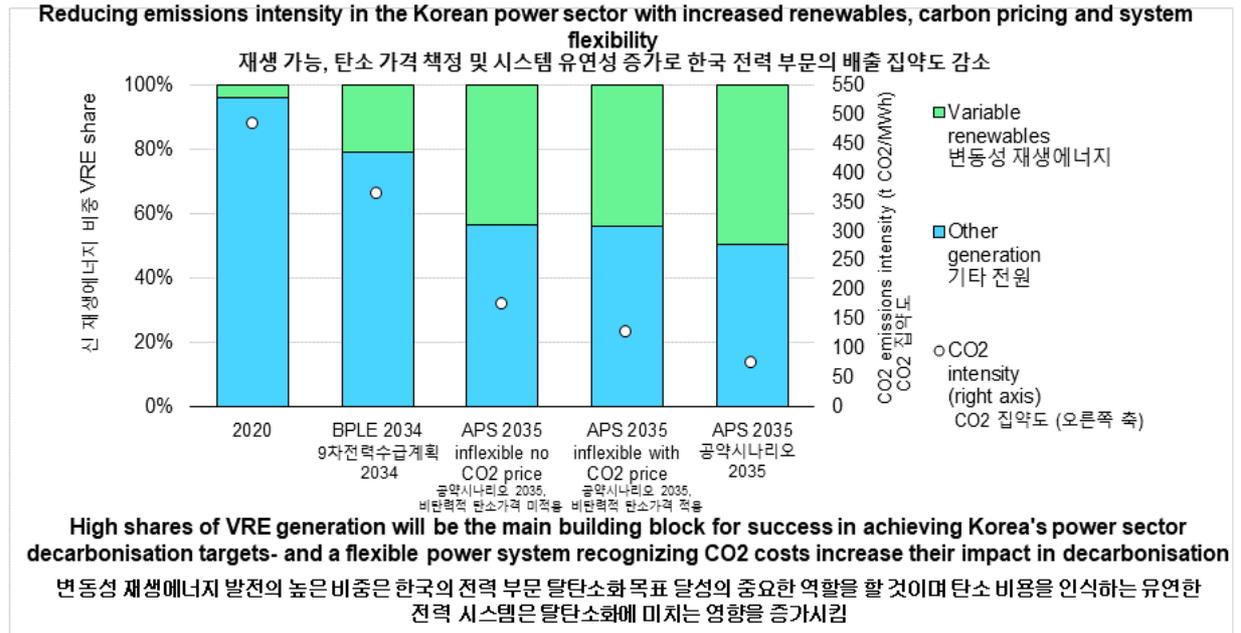


IEA 2021. All rights reserved.

Page 8



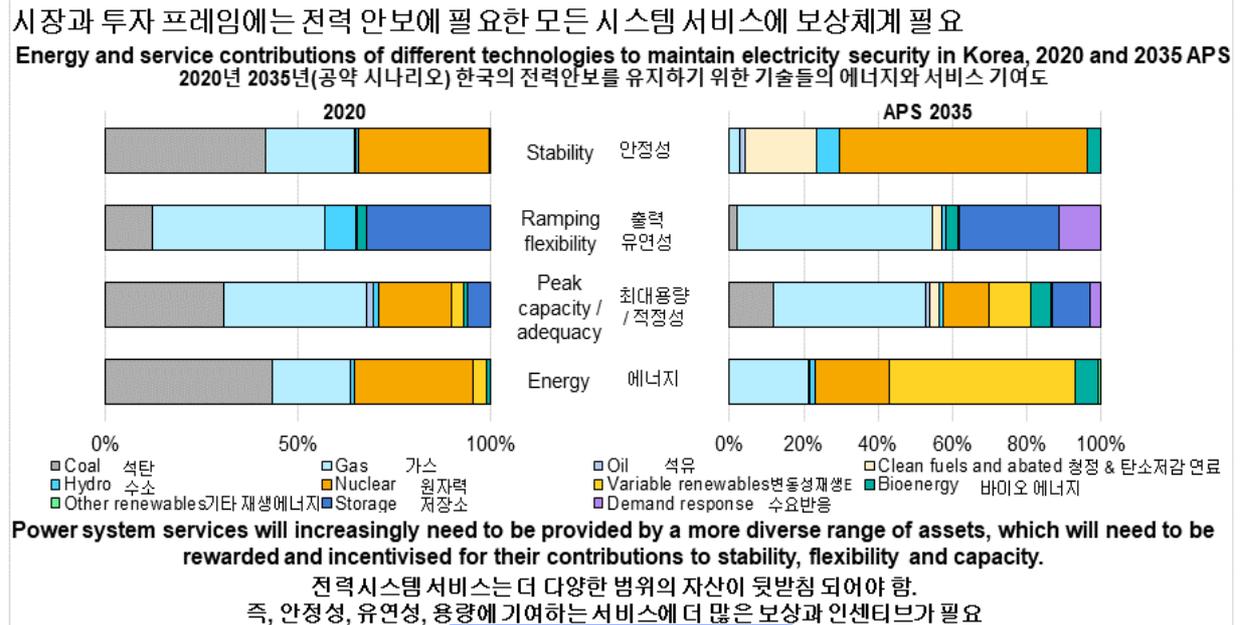
Increasing shares of VRE generation 변동성재생에너지 생산량 비중 증가 iea



IEA 2021. All rights reserved.

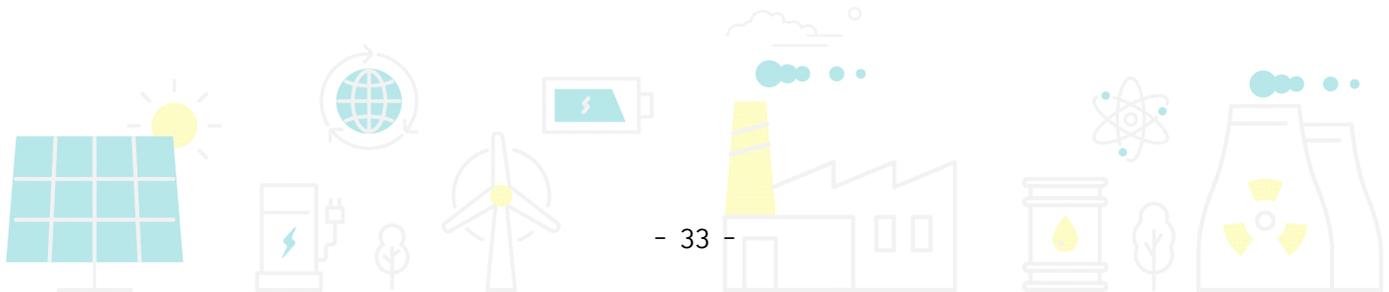
Page 9

Markets and investment frameworks need to remunerate all system services needed for electricity security iea



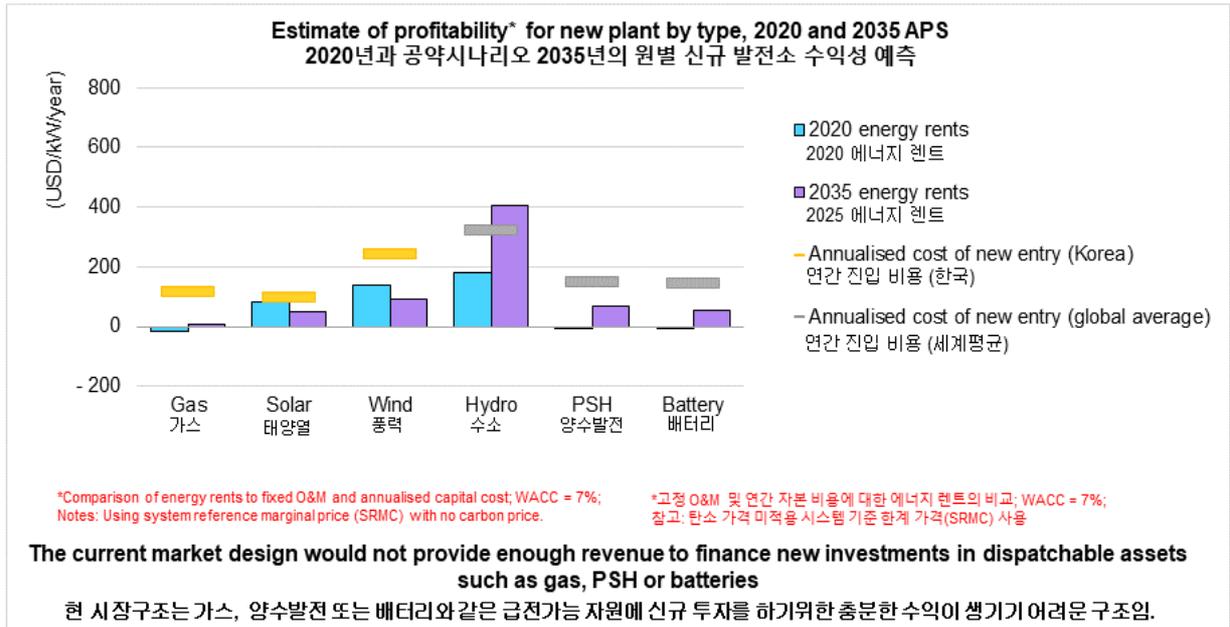
IEA 2021. All rights reserved.

Page 10



The current wholesale market price signals are inadequate to attract new generation

현 도매시장은 신규발전의 진입에 적합한 가격신호를 제공하지 못함.

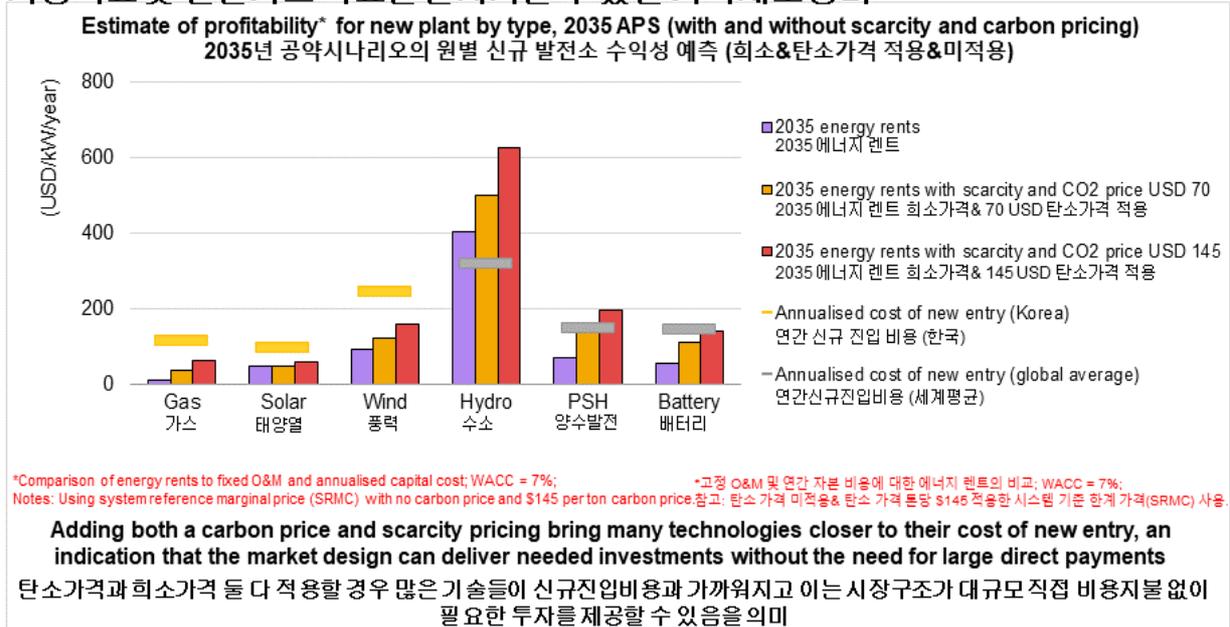


IEA 2021. All rights reserved.

Page 11

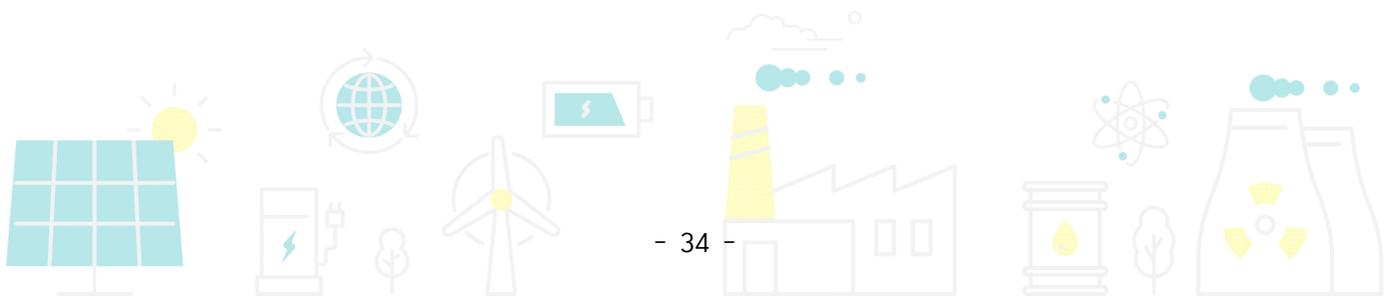
Pricing enhancements align markets and emissions goals

시장목표 및 온실가스 목표를 일치시킬 수 있는 가격제도 강화



IEA 2021. All rights reserved.

Page 12

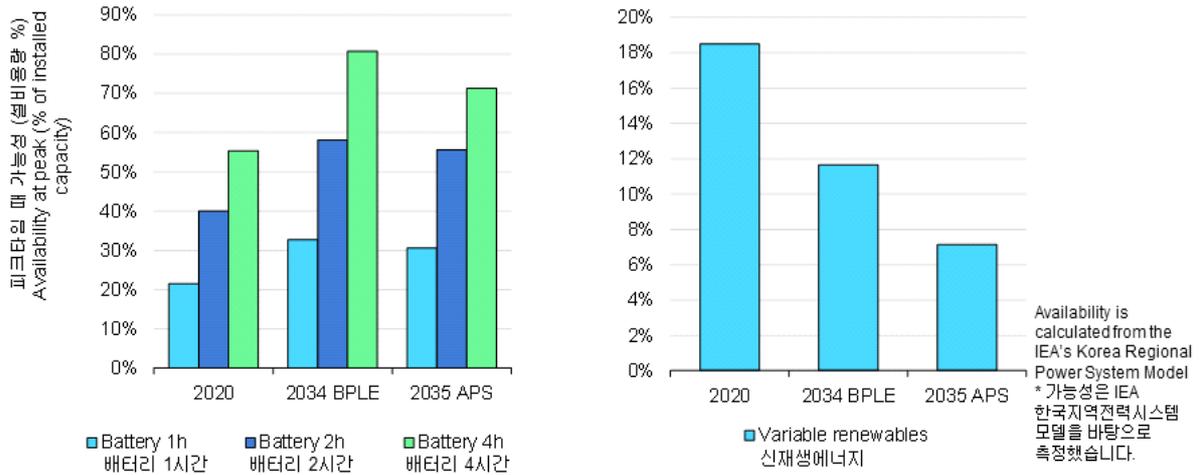


Refining out-of-market payments to ensure adequacy

적정성을 보장하기 위한 시장 외 요금제도 개선



Battery availability during critical hours by storage duration and combined wind and solar contributions, 2020, 2034 BPLE and 2035 APS
 2020년, 2034년 전력수급계획, 2035년 공약시나리오에서의 저장 시간과 풍력 태양열 기여도에 의한 피크타임 동안의 배터리 가능성



Capacity payments should remunerate assets based on their actual contribution to adequacy

용량 요금은 적정성에 실제 기여한만큼을 바탕으로 보상

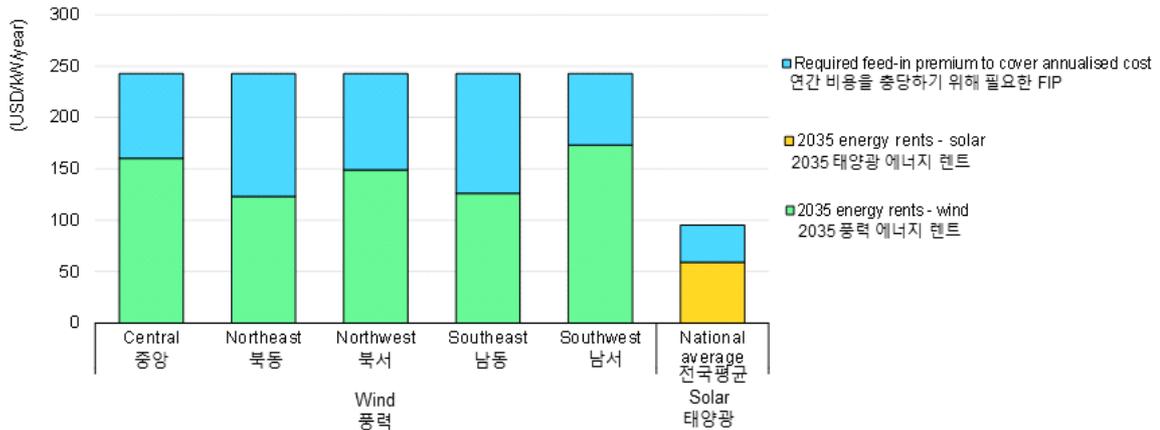
Long-term support mechanisms complement market revenues

시장 수익구조 보완을 위한 장기 보상 메커니즘



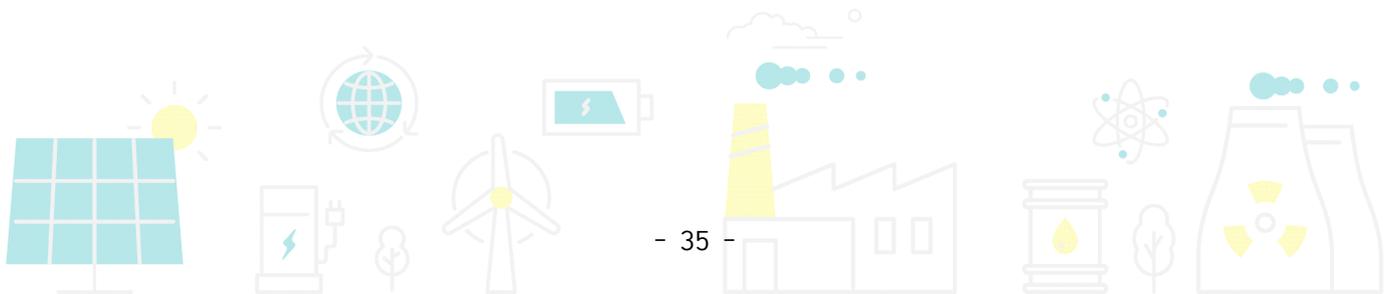
Estimated feed-in premium required for wind and solar in various regions – APS 2035 in the IEA Korea Regional Power System Model*

다양한 지역의 풍력과 태양열에 필요한 FIP(Feed-in Premium) 예측 - IEA 한국지역 2035년 공약시나리오



Renewable support schemes can top up market revenues to ensure low-carbon generation deployment is in line with Korea's targets

재생에너지 지원 계획은 저탄소 발전 증가가 한국의 탄소중립 목표와 일치하도록 시장 수익을 보완할 수 있음



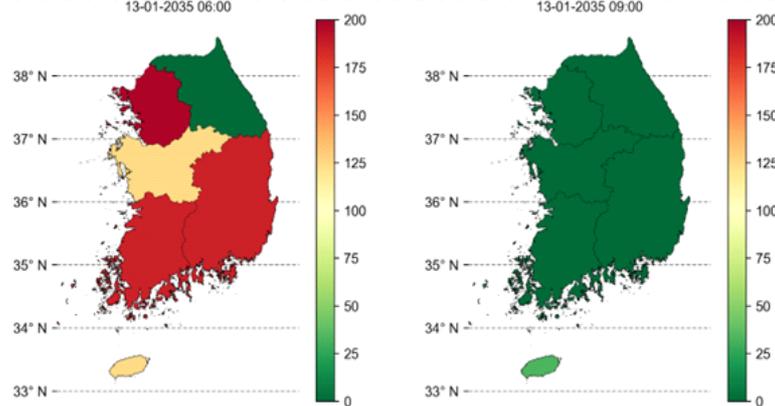
Recognising regional differences in supply and demand

공급과 수요부분에서 지역간 차이 파악



SRMC across regions during a period of peak (left) and minimum (right) net load, Korea Regional Power System Model APS 2035

피크시간대와 최저 부하 시간대 동안의 지역간 단기한계비용 한국 지역 전력시스템 모델 공약시나리오 2035



Moving from a copper-plate approach to regional price zones or recognising regional differences in long term auctions for VRE can be an important tools to make sure Korea makes the most of its VRE resources

Copper-plate 접근법에서 지역 가격 구역으로 전환 또는 신재생에너지 장기 경매에서 지역간의 차이를 인식하는 것은 한국이 신재생에너지 자원을 만들 수 있음을 나타내는 중요한 도구.

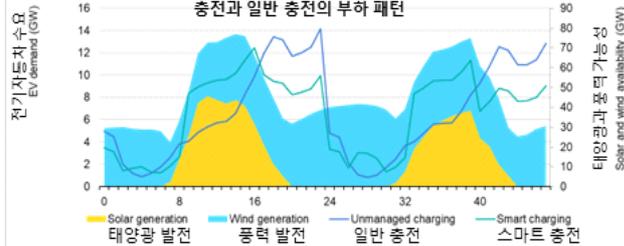
Flexible demand is key in a highly decarbonised power sector

유연한 수요는 전력부문 탈탄소에 핵심요소



Electric vehicle load profiles for unmanaged and smart charging relative to solar and wind availability in Korea 2035 APS

2035 한국 공약시나리오에서 태양광과 풍력 발전과 연계된 전기자동차의 스마트 충전과 일반 충전의 부하 패턴

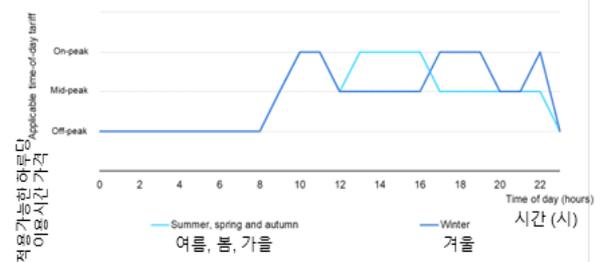


Cost savings for the EV fleet when charging is optimised
충전이 최적화 되어있을 때 EV 비용절감

	Peak costs 피크 비용	Operating costs 운영 비용	Emissions 탄소배출량
\$/MWh Avoided 회피비용	18	21	/
% Reduction % 절감	30%	21%	21%

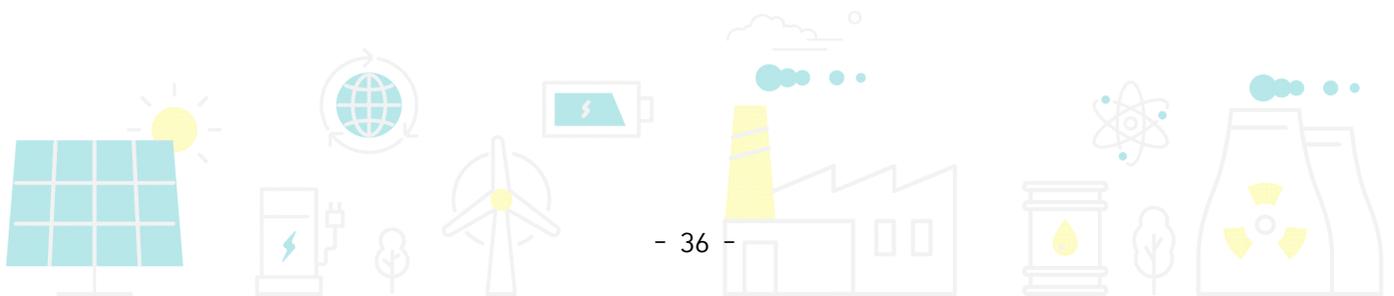
Distribution of time-of-use tariffs across the day by season in Korea's special EV tariffs

한국의 전기차 특례요금의 계절별 가격배분



Digitalisation allows maximizing the impact of EVs in decarbonisation, reducing emissions, operational costs and peak capacity needs for the system

디지털화는 탈탄소화, 온실가스 감소, 운영비용, 계통에 필요한 최대용량부분에서 전기자동차의 역할을 극대화시킴





Thank you!
감사합니다



International
Energy Agency

<https://www.iea.org/reports/reforming-koreas-electricity-market-for-net-zero>

Page 17

