
그린뉴딜과 전력산업의 새로운 방향

2021. 1. 14

이유수 선임연구위원



에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute



목차

- 1 그린뉴딜과 에너지부문의 과제
- 2 재생에너지의 전력계통 영향과 사례
- 3 전력시장의 운영시스템과 문제점
- 4 전력산업의 새로운 방향



1. 그린뉴딜과 에너지부문의 과제



배 경

대공황

- 경제불황
- 대규모 실업발생

수 단

도로, 항만 등 공공시설

- 공공시설 건설
- 농업 지원

결 과

경제회복 및 일자리 창출

- 단시간 내에 경제회복
- 비숙련 노동자의 대규모 일자리 창출





배 경

기후변화 및 코로나 19 극복

- 코로나 이후 나타난 경기침체
- 포스트 코로나 시대 선도형 경제 기반 구축

수 단

재정투자 · 제도개선

- 민간수요를 견인하는 마중물
- 민간의 혁신 투자를 유도 · 촉진

목 표

위기극복과 국가발전

- 양질의 일자리 창출
- 그린경제 인프라 구축, 투자 회복
- 탄소중립을 향한 산업구조 개선



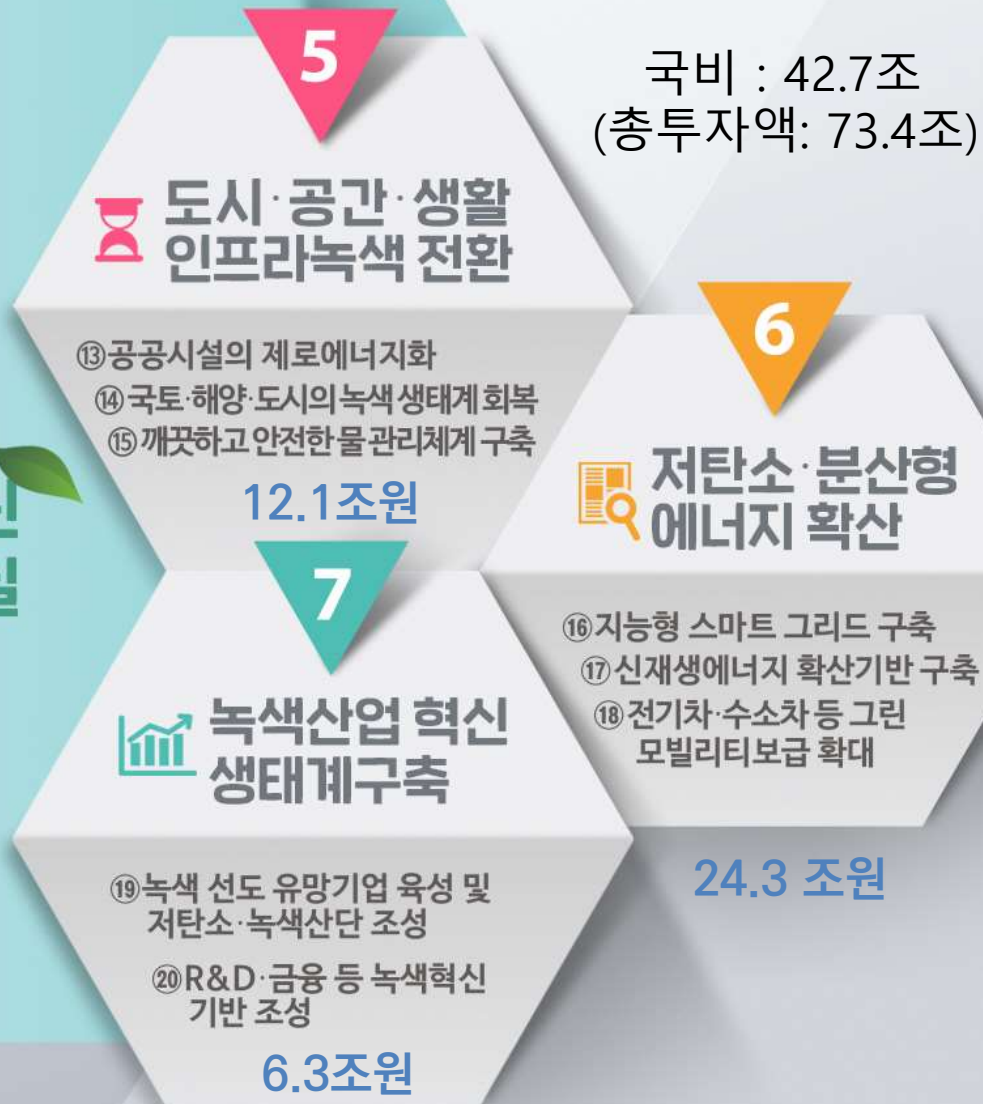
뉴딜 vs. **그린** 뉴딜



그린 뉴딜의 에너지부문 과제



그린
뉴딜



1

에너지
효율

2

RE
확대

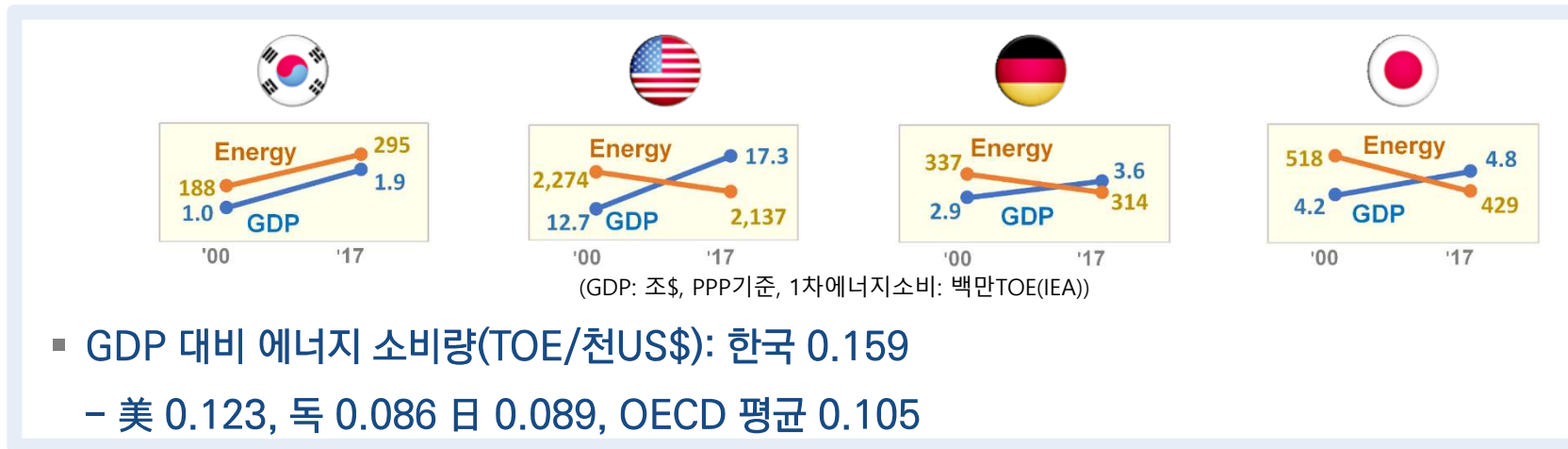
3

전력
신산업

01. 에너지효율 향상노력



» 경제성장과 소비감소의 동시 달성(Decoupling)

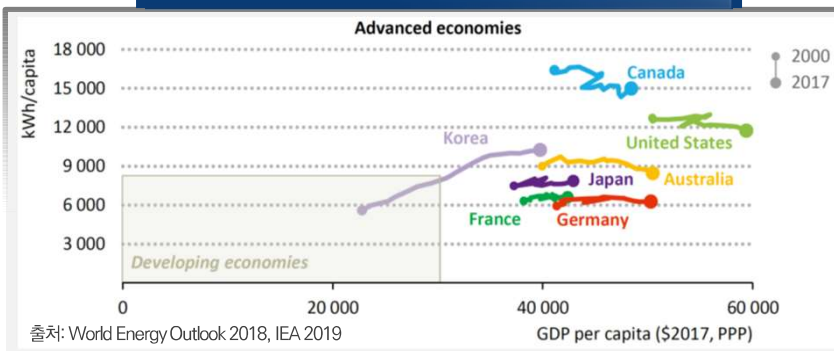


출처: 에너지효율 혁신전략, 산업통상자원부 2019

경제성장과 에너지소비

- 한국은 에너지 소비 세계 8위의 다소비 국가(GDP 12위)
- 최종에너지 및 전력 소비의 지속적인 증가
- 다소비·저효율 에너지 소비구조의 고착화는 기후변화 대응에 역행

국가별 인당 전력소비 추이



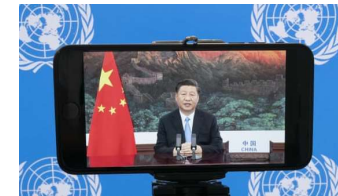
02. 재생에너지의 확대



기후변화 대응 재생에너지 비전

- (현재) 석탄발전 중심의 온실가스 다배출 국가
- (미래) 신재생에너지 확산 및 다각화로 저탄소 친환경 국가로 도약

- 중국, UN총회 연설서 "2030년 탄소배출 피크· 2060년 이전 탄소중립" 전격 발표
- 국회, '2050년 온실가스 넷제로' 목표 제시



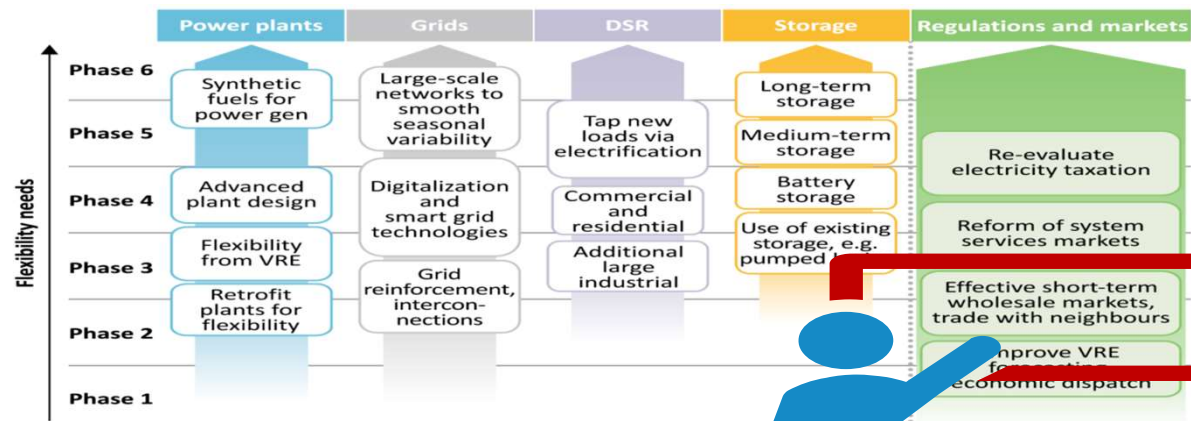
전력계통의 유연성 확보

- 우리나라는 Phase 1(2019년 약 2.7%)에 해당, 단 제주도는 Phase 3(2019년 약 14%)에 해당함.
- 연휴기간의 원자력 감발운전, 제주계통의 신재생 출력제어 등이 나타나고 있음.

2단계 진입에서의 전력시장 대응

1. **도매시장**
 - 실시간 시장 도입

2. **소매시장**
 - 개인 간 거래 허용



출처: World Energy Outlook 2018, IEA 2019

03. 산업구조 전환 – 국고 + 민간 투자 유도



에너지 신산업

- 기후변화 대응, 에너지 안보, 수요관리 등 에너지 분야의 주요 현안을 효과적으로 해결
- 온실가스 감축이 가능한 선도형 융합사업
- 수익성을 창출하는 산업구조 마련이 필요

» 에너지 신산업 주요 사업모델





2. 재생에너지의 전력계통 영향과 사례

재생에너지와 전력공급의 안정성



전력운영 시스템의 변화

전력수요

수요변동성

- 시간별 수요변화
- 피크수요의 시간대 변화

전력공급

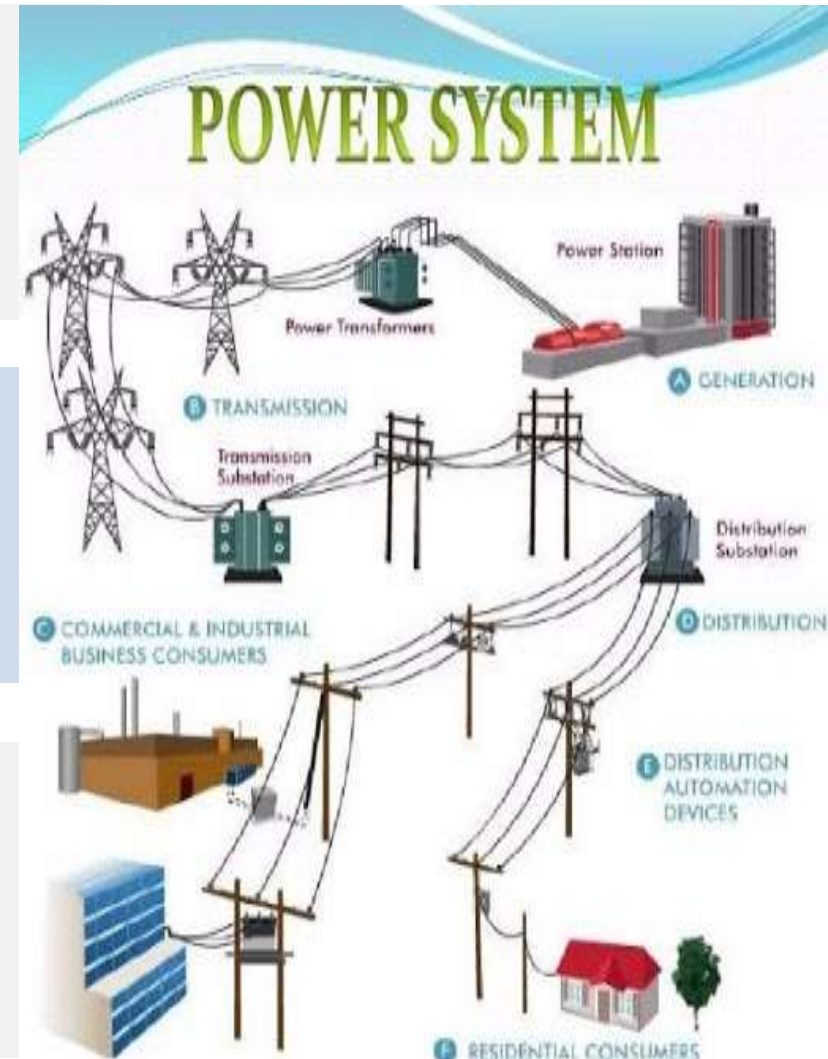
공급변동성

- 수급균형 유지
- 출력 변동성, 수급불균형

전력계통

계통불안정

- 계통의 안정화
- 계통의 불안정 현상



태양광 및 풍력 발전의 전력계통 영향



재생에너지의 계통 통합

교류 전력계통

- 교류 발전기와 전력계통 운영
- 관성 및 동기 발전기
- 정상적 상태 운전
- GF 및 AGC
- 부하추종 예비력

전력계통 대응

- 비정상적 상태 운전
- 전력계통 신뢰도 기준 준수
- 사고 대응 운영 예비력
- 1, 2, 3차 예비력 대응
- 공급예비력 부족시 부하 차단

재생에너지 연계

- 출력예측 불확실성
- 발전출력 변동성
- 발전기 관성 없음
- 비동기 발전기
- 인버터 사용

전력계통 영향

1

전력수급
불균형

2

전력품질
저하

3

전력계통
관성약화

4

정전위험
가중

국내 전력계통 영향 사례 - 제주도 풍력발전의 출력제한



사례 1

- 전력수요가 낮은 경우 : 타 발전설비의 출력 최소화, 수요 초과하는 재생에너지 출력제한
- 출력제어를 하지 않을 경우 : 과잉공급 → 과주파수 → 태양광 설비 대규모 탈락
→ 주파수 급격한 하락 → 저주파수 계전기의 부하차단
- 해결방안 : HVDC 제3연계선 건설(육지 전송), ESS 확충, 자체 수요개발, 수요이동 등

태양광 및 풍력 발전 설비용량

	2015	2019
태양광 설비 용량 (MW)	72	261
풍력 설비 용량 (MW)	221	290
합 계	293	551
전력수요 (MW, 2020년)	최소 수요	최대 수요
	420 (4/5)	1,037 (8/14)

출처: 전력거래소 제주본부

제주도 전력계통의 풍력발전 출력제한

구 분	풍력발전 제어횟수	출력 제어량 (MWh)	제어비중 (%)	제어비용 (백만원)
2015	3	152	0.04	27
2016	6	252	0.05	45
2017	14	1,300	0.24	234
2018	15	1,366	0.25	246
2019	46	9,223	1.66	1,660
2020.6	44	13,408	3.31	2,413

출처: 좌동

국내 전력계통 영향 사례 - 과전압과 주파수 하락폭 확대



사례 2

- 2019년 10말~연말 : 태양광 발전 밀집지역인 전라도에서 배전계통의 과전압 문제 발생
- 배전계통의 과전압 발생은 기기나 설비의 고장 유발
- 문제해결 : 송배전선로의 조류변경, 변전소 조상설비의 무효전력 흡수

배전선로
무효전력, 과전압

← 낮은 전력수요

+

태양광 설비
전력생산량 증가

+

한빛 원전의
고장 등

사례 3

- 금년 3월 28일 : 신보령 1호기 불시정지 → 계통주파수 59.8Hz↓ → 59.67Hz 추가↓
- 태양광 발전설비 인버터 위험신호로 인지 → 전력생산 중단으로 추가 주파수 하락
- 문제해결 : 한전의 송배전용 전기설비 이용규정 개정(신재생발전기 신규접속 설비의 계통연계 기준 강화 : 고장시 일정시간 동안 계통 접속 유지)

- 금년 1월 30일 새벽 : 제주도 내 154kV 송전선로 낙뢰로 고장 발생
- 운전 중이던 160MW의 풍력발전 중 절반 가까이 탈락
- 문제해결 : HVDC에서 빠른 전력공급으로 위기 해결, 향후 고립 계통인 육지에도 영향 가능

국내 전력계통 영향 사례 – 원자력 발전의 출력 감발



- (1차) 금년 5월 2일 19시 ~ 3일 자정, 신고리 3, 4 호기 원자력 발전의 출력 감발 시행
- (2차) 금년 9월 30일 02시 ~ 10월 5일 06시, 신고리 3, 4호기 출력 감발 시행
- 핵분열 속도 조절 : 중성자 흡수 봉산 원자로 투입 방식
- 연휴, 명절 등 특수 경부하 기간 예상 수요와 발전기 운영계획 검토를 통해 계획
- 재생에너지 증가로 인한 경직성 전원의 비중 증대 : 원전출력 조절 상시화 가능성 제기
- 원전의 출력 감발 : 안전성에 대한 검증 여부 논란

원자력 출력 감발 상황

- 전력수요 최저 40GW 내외
- 경직성 전원(원전, 태양광), 송전제약에 따른 가동중단 어려운 발전기 등의 높은 비중
- 원전의 발전기 가동 중단에 따른 주파수 하락 우려 대비(발전기 1기 고장 시 최저주파수 범위 벗어나면 신뢰도 기준 위반)
- 원자력 감발 운전의 상시화 가능성 커짐

상정고장 시 계통주파수 유지 기준

발전기 고장 구분	계통주파수 유지 범위
정상 상태	60Hz ± 0.2Hz
발전기 1기 고장	최저 계통주파수 59.7Hz 이상 유지, 1분 이내 59.8Hz 회복
발전기 2기 고장	최저 계통주파수 59.2Hz 이상 유지, 1분 이내 59.5Hz, 10분 이내 59.8Hz로 회복
비상 상황	62~57.5Hz 범위 내 유지

출처: 산업통상자원부 고시 제2019-176호, 전력계통 신뢰도 및 전기품질 유지기준, 2019.11.1

재생에너지의 배전계통 영향

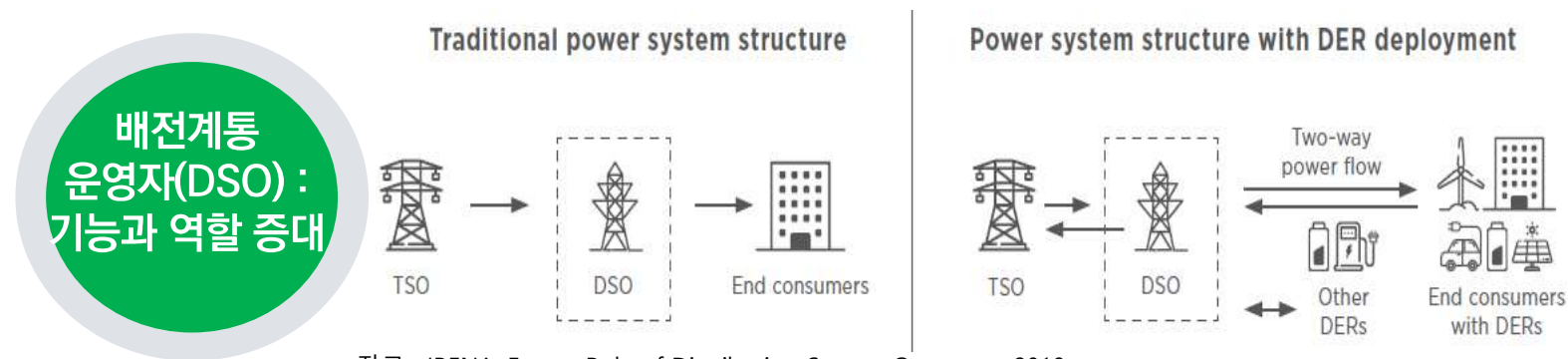


분산에너지자원 확대와 배전계통 운영

- (현재) 전통적 전력거래 구조 : 대규모 발전설비의 생산 전력을 소비자에게 판매 (일방향 정보흐름)
- (미래) 분산에너지자원 확대 전력거래 구조 : 배전망이 분산에너지자원의 플랫폼 역할

- 분산에너지 소유자인 소비자와 상호 전력 및 정보 교환
- 전력망의 혼잡과 피크부하 관리 방식

» 배전계통의 안정성 전제 : 분산에너지 시장거래를 위한 새로운 제도 설계



자료 : IRENA, Future Role of Distribution System Operators, 2019

※기존 전력 운영시스템의 한계 : 전통적 전력계통 및 시장구조로는 전력계통의 안정성 확보와 시장거래 활성화 추진이 어려움.



3. 전력시장의 운영시스템과 문제점

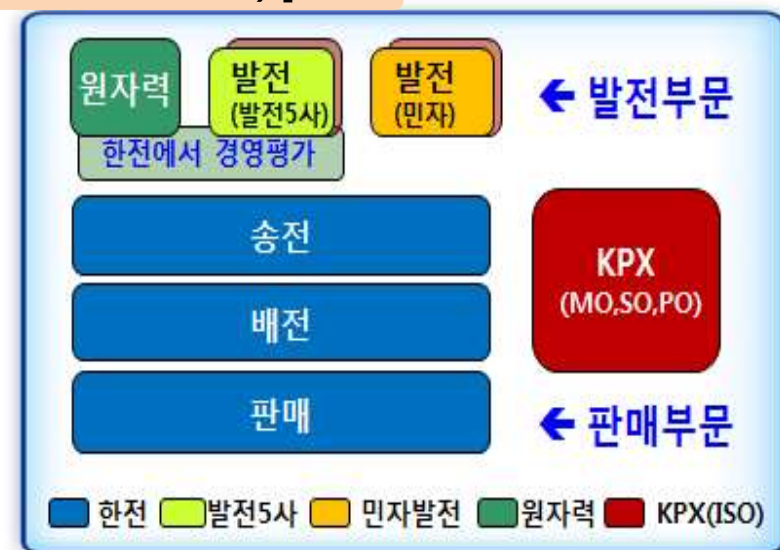
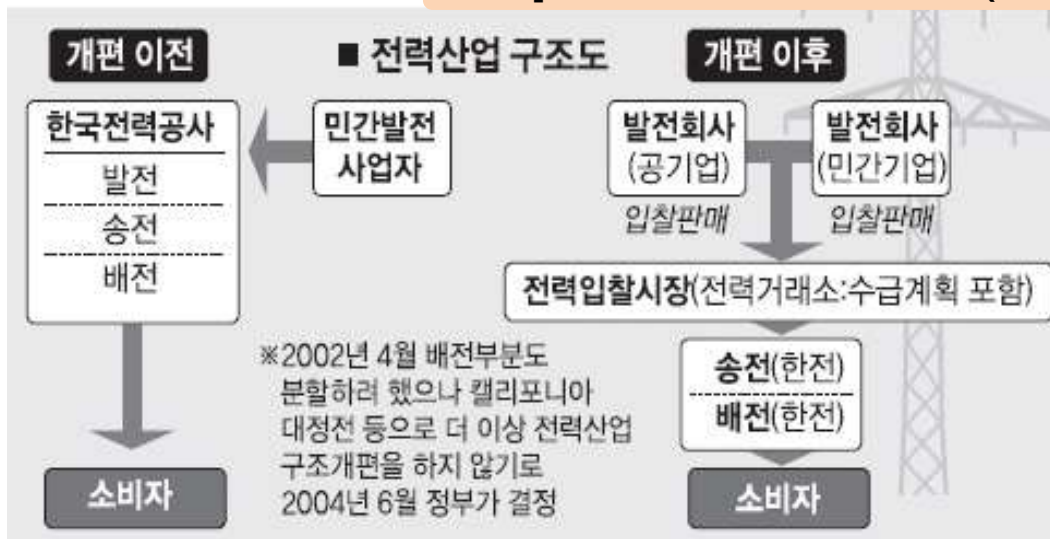
전력시장의 운영시스템과 문제점



전력시장의 현 주소: 전력시장구조

- 현행 발전경쟁 단계의 변동비 반영(Cost-Based Pool, CBP) 시장 운영
- 송배전 및 판매부문의 한전독점체제 유지
- 소비자는 한전에서 전력구입(3만 Kw 이상 대규모 소비자는 도매시장에서 직접구매 가능)
- 일정규모(20MW) 이상의 전력거래는 도매시장에서 이루어지는 강제적 시장
- 한전과 전력구입계약(PPA)을 체결한 사업자는 수급계약 가격으로 정산

[현재 국내 전력시장 구조 (발전경쟁 + ISO 체계)]





» 전력시장 운영시스템의 문제

- 전기사업법의 문제 : 전력산업 구조개편 시 개정된 전기사업법의 큰 틀 유지
 - 부분적 신규사업에 대한 법개정으로 규정 마련
 - 친환경 에너지 기술발전에 따른 비용하락 → 다양한 사업자 시장진입 유인, 거래방식 변화 수용 불가
 - 4차 산업혁명 기술 및 신규 사업 성격상 융복합적 특징 : 법에서 명확한 구분, 활용범위 제한, 기술다양성 반영 축소, Positive 규제의 문제
- 전력시장 운영의 문제
 - 도매시장 : 발전자회사 정산조정 계수 적용, 하루전 시장만 운영, 강제적 도매시장
 - 도매시장의 가격결정 방식 : 재생에너지 증가시 SMP 하락, 재생에너지 관련 비용 전기요금에 완전하게 반영하지 않는 구조, 도소매시장의 단절
- 가격 체계의 문제
 - 총괄원가 보상원칙이 적용되지만 원가회수율에 못미치는 과도한 전기요금 규제
 - 송전, 배전, 판매 등 부분별 비용의 분리가 불명확, 요금제의 다양성 결여
 - 전력수급(자원배분)의 왜곡 심화, 요금변동성 미흡에 따른 수요반응 및 신규 사업창출 장애

전력시장의 운영시스템과 문제점



에너지시장의 근본적 문제

- 에너지 요금, 시장구조, 정보공유, 에너지원간 융복합적 측면에서 에너지전환 및 신규사업 장애
- 전통적 에너지 규제체계 하에서
 - 지속가능한 에너지 산업의 발전 및 신산업 기반의 성장동력 확보가 가능한지?
 - 4차 산업혁명 기술요소의 수용 및 범용적 활용이 가능한지?

1 에너지 요금 규제

- 낮은 에너지 요금수준
- 요금의 경직성 및 설계 자율성 미비
- 수익성 모델 개발에 한계
- 시장의 가격기능 정상화

2 독점적 시장구조

- 다른 판매사업자의 진입 장벽
- 신규 사업모델 개발 유인 부재
- 수요반응 및 결합 서비스 창출장애
- 진입 장벽 철폐와 경쟁구조 조성

- 정보는 신규 수익모델 핵심적 역할
- 데이터 활용 사업모델 개발 걸림
- 소비정보 개방과 공유기반 구축필요

3 정보의 독점화

- 에너지 업역간 엄격한 구분
- 다양한 에너지 융복합 사업 애로
- 업역간 구분철폐, 타 산업과 융복합

4 에너지원별 구분

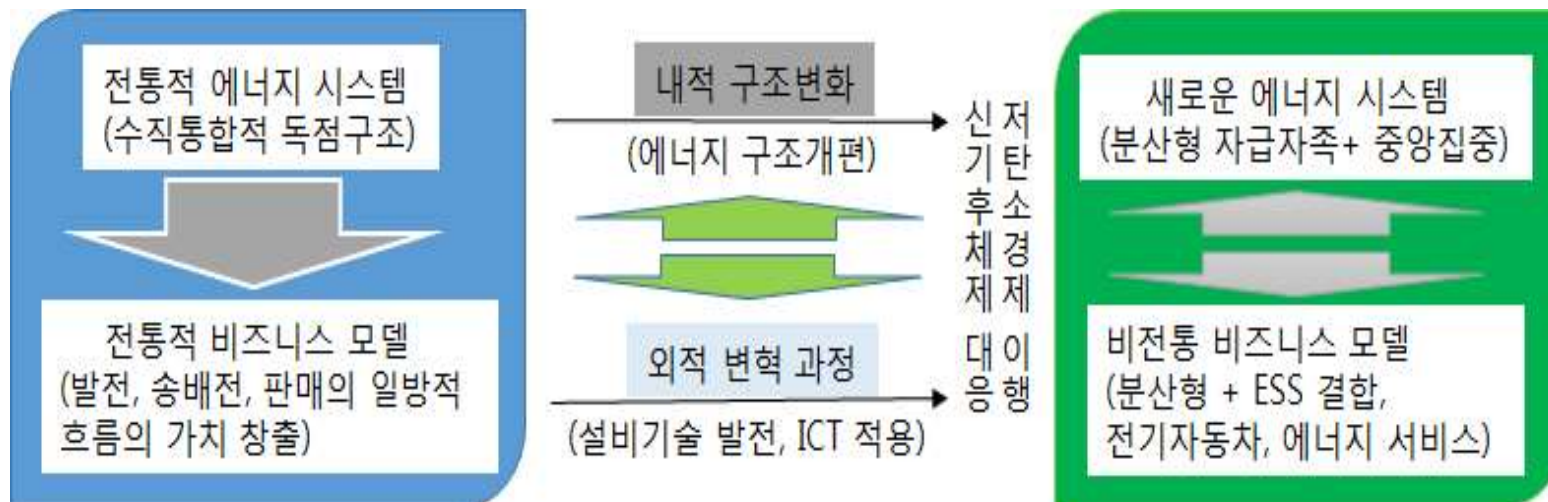
전력시장의 운영시스템과 문제점



전통적 에너지 규제시스템 유지

- 전통적 에너지 시스템 → 수급 및 거래 방식과 기술변화 → 새로운 에너지 시스템 구축
- 전통적 에너지 시스템 유지 : 전통적 비즈니스 모델(한 회사가 단일 에너지 판매 통해 가치창출)
- 우리나라 전력산업은 구조적으로 내적 구조변화의 초기단계 유지
- 구조변화없이 기술발전, ICT 적용 등 외연적 기술적용을 통해 신규 사업모델 개발 시도
- 정부 및 공기업 주도의 사업모델 창출, 신규 사업에 대한 민간부문의 투자유인 미흡

에너지(전력) 시스템의 변화 과정





4. 전력산업의 새로운 방향

미래 전력시스템 운영



미래 전력시스템의 역할 변화

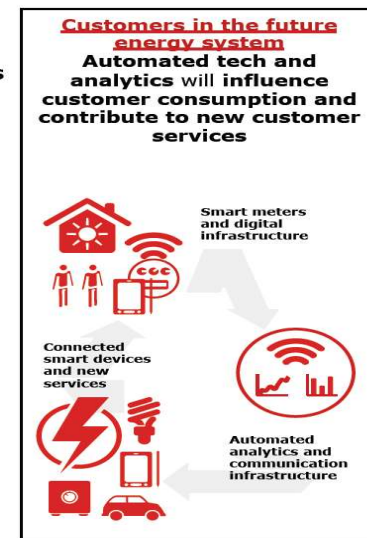
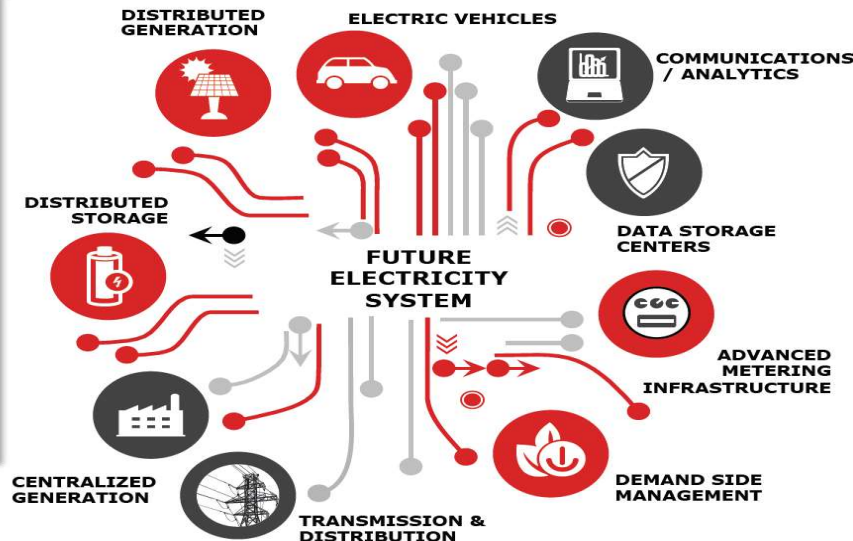
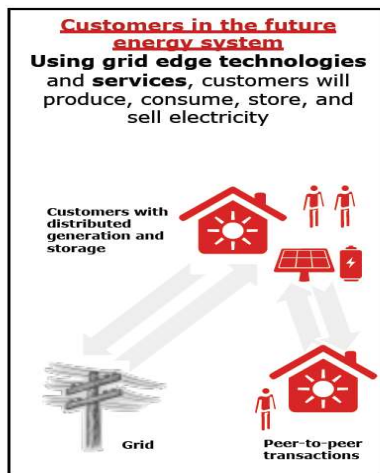
- 전력시스템 역할 : 전력공급 차원을 넘는 분산에너지원의 가치 극대화하는 플랫폼으로 진화
- 수입모델 : 중앙집중적 전력공급의 수입감소 → 신규 배전 및 소매 서비스로 수입확대
- 개별 소비자 : 선택한 기술의 계통연계로 여타 분산자원 및 중앙집중적 자원과 거래

» 스마트화, 분산화, 복잡화

전력시스템

=

신뢰성, 안전성, 환경적 지속성
서비스 및 비즈니스 새로운 기회제공

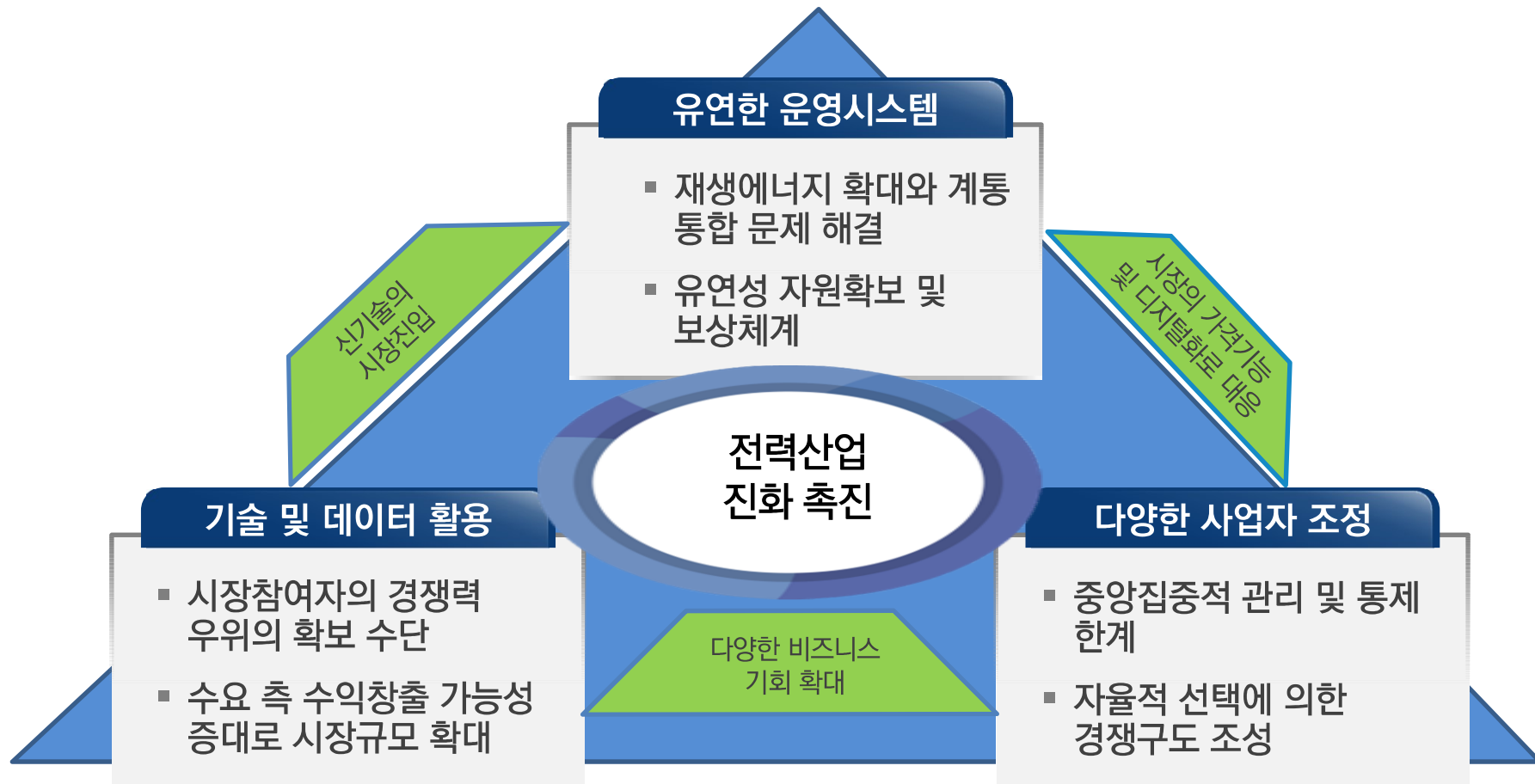


전력산업 진화와 전력시장의 수용



“전력산업의 진화 : 신기술의 적용에 따른 비용 감소, 분산화, 디지털화(자동화 및 효율화)”

» 전력 운영시스템의 유연성과 시장제도 개혁



전력시장의 운영시스템 개선 및 시장 개방



“재생에너지의 계통 통합은 근본적으로 전력운영시스템 개선과 시장의 개방을 통해 해결”

전력 도매시장

재생에너지 변동성 대응

신재생발전기의 계통연계 기준 강화

- 사고시 계통연계유지(주파수 : FRT, 전압 : LVRT)

속응성 자원형태 Fast DR 도입 계획

- 일정 주파수 이하 하락 : 저주파수 계전기를 통한 산업체 소비차단

재생에너지 발전량 예측제도 도입 계획

- 발전량 하루 전 예측, 당일 일정 오차내 이행 시 정산금 지급

도매시장 운영 개선

실시간 시장 및 보조서비스 시장 구축

- 태양광 및 풍력 발전의 실시간 변동성 반영
- 운영예비력과 대체 자원 활용의 시장가치 반영 필요

도매시장의 장단기 계약 비중 확대 및 현물 비중 축소

- 가격 및 물량의 변동성 위험 방지의 수단으로 활용

가격입찰 시장으로 전환

- 시장의 가격기구가 사업자의 입찰 선택을 판단

가격입찰에 따른 용량시장 운영 고려

- CBP 체제의 용량요금에서 가격입찰에 따른 용량시장 개설고려

전력 소매시장

분산에너지자원 확대와 DSO 기능강화 대비

분산에너지자원 거래에 대한 제한

- 현행 분산에너지자원 거래는 도매시장 중심, 한전과 PPA

DSO 중심의 거래 플랫폼 형성과 분산에너지자원 연계

- DSO 중심의 거래 플랫폼 형성, 소매시장 자유화기반에서 활성화
- 소매시장 규모 확대에 대한 기회 제공
- 분산에너지자원 관련 서비스와 사업모델 개발, 다양한 기회 확대

소매시장 개방 방식

진입규제 완화 방식 : 일본과 유사 방식

- 논란의 여지줄이면서 시장경쟁체제로 이행 장점
- 개방의 범위 : 수용가 규모 고려(일정에 대한 로드맵 제시 필요)

현 전기사업법 신규 판매사업자 허용 가능, 규정 미비

- 신규 판매사업자의 진입을 위한 자격 및 허가 요건 규정
- 공급사 전환절차의 표준화 규정 마련 등

전력시장의 운영시스템 개선 및 시장 개방



“도매시장 및 소매시장의 변화와 효율화 추진을 위한 여건 개선”

공정경쟁 여건 조성

도매시장
전력 구매 조건
한전과 타판매사업자
동일조건

송·배전망
이용조건
제3자 차별대우
금지

- 기존 지배적 사업자의 시장 영향력 축소
- 개방 초기 일정기간 비대칭 규제 시행
- 일정기간 다른 다수 사업자의 경쟁력 확보 필요
- 대규모 수용가 직거래도 판매사업자와 동일 조건 적용

시장 가격기능 활성화

현행 소매시장 요금

용도별 교차보조 해소
전압별 요금체계 이행

소매시장 개방

점진적 가격자유화
초기 요금상한제, 요금선택

- 시간대별 비용반영, 차별화된 선택요금제
- 소비자의 공급자 선택과 다양한 요금메뉴 제공

※ 도매시장의 가격 기능 활성화

- 비용절감 및 발전설비 투자 유인의 신호 역할
- 소매시장과의 가격연계를 통한 효율적 자원배분 달성

공정경쟁 여건 조성과 시장 가격 기능 활성화로 전력시장 효율화 증진

감사합니다



에너지경제연구원
Korea Energy Economics Institute